



**RAPHAEL SANTOS  
CAETANO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE  
WCs PRÉ-FABRICADOS NA REABILITAÇÃO DE  
EDIFÍCIOS**





**RAPHAEL SANTOS  
CAETANO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE  
WCs PRÉ-FABRICADOS NA REABILITAÇÃO DE  
EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Inês Osório de Castro Meireles, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação científica da Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa, Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



## **o júri**

presidente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Licenciado António Cardoso Morais dos Santos Lessa  
ASL Associados (Arguente)

Prof.<sup>a</sup> Doutora Inês Osório de Castro Meireles  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)



## **agradecimentos**

Nesta fase da minha vida académica, gostaria de deixar aqui um voto de agradecimento a todos os que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal ao longo do curso e neste trabalho.

À orientadora, Prof. Doutora Inês Meireles pela sua disponibilidade, supervisão, paciência e ajuda para atingir os objetivos desta dissertação.

À coorientadora, Prof. Doutora Ana Velosa por todo o apoio e conhecimento transmitidos durante o trabalho e durante todo o curso.

À Eng<sup>a</sup>. Andreia Costa (Oliveira & Irmão S.A.), à Janine Ferreira (INOVADOMUS) e ao Eng.<sup>o</sup> Henrique Gago (Oliveira & Irmão S.A.) que mostraram sempre disponibilidade e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os Professores da Universidade de Aveiro, em especial aos do Departamento de Engenharia Civil, que contribuíram para a minha chegada até este ponto.

Aos meus pais, pela educação e pelos valores que me transmitiram, pela forma como me ensinaram a ver o mundo, e sobretudo pelo amor e carinho demonstrado. A eles, que foram o meu grande suporte para a realização deste curso, que culmina na execução desta dissertação, agradeço e dedico este trabalho.

À minha irmã, pelo apoio incondicional e motivação nesta etapa importante da minha vida.

E por fim e não menos importantes, a todos os meus amigos que me ajudaram nesta minha caminhada académica.





## **palavras-chave**

Módulo sanitário, WC pré-fabricado, Reabilitação de edifícios, Instalações Hidráulicas.

## **resumo**

Na presente dissertação é realizado um estudo de viabilidade da aplicação de módulos sanitários pré-fabricados na reabilitação do edificado antigo, focado na parte hidráulica. Atualmente, não se prevê um significativo crescimento do património edificado, mas sim a massificação da reabilitação de edifícios existentes. Em qualquer edifício a reabilitar, é usual a renovação dos WCs, seja porque as tubagens se encontram degradadas, seja porque funcionalmente e/ou esteticamente os WCs se encontram desadequados. O presente trabalho foi desenvolvido com a colaboração da Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro (INOVADOMUS) e a empresa Oliveira & Irmão S.A.

Este relatório aborda tópicos referentes ao edificado antigo, às soluções atuais de WC pré-fabricado e ao módulo sanitário em estudo. Dado este trabalho incidir em distintos tópicos, o presente relatório divide-se em duas partes.

A primeira parte aborda as características e evoluções do edificado antigo, a caracterização do edifício onde será instalado o módulo sanitário (casa Santo António- Sede INOVADOMUS) e uma análise às diferentes soluções de WC que existem atualmente. Tanto a caracterização do edificado antigo como a da casa Santo António são apenas efetuadas para os elementos construtivos associados à instalação e disposição do módulo sanitário.

A segunda parte refere-se à análise e dimensionamento da rede hidráulica constituinte do módulo sanitário. Inicialmente, é concebido um traçado hidráulico, tanto para a rede de distribuição de água como para a rede de drenagem de águas residuais, que satisfaça a versatilidade quanto às possíveis disposições do módulo sanitário. Após uma análise às componentes hidráulicas geralmente empregues em obra foi efetuado o dimensionamento da rede de distribuição de água e da rede de drenagem de águas residuais para o traçado anteriormente abordado. O dimensionamento efetuou-se segundo o atual Regulamento Português, as Normas Europeias e o futuro Regulamento Português, onde se elaborou uma posterior comparação dos resultados obtidos. Para ambas as redes dimensionadas, foi realizada uma subsequente análise económica para as várias soluções de componentes hidráulicas.



**keywords**

Sanitary module, Prefabricated WC, Building rehabilitation, Hydraulic installations.

**abstract**

In this dissertation is carried out a feasibility study on the application of prefabricated sanitary modules in the rehabilitation of old buildings, focused on the hydraulic part. Currently, it is not expected a significant growth of the built heritage, but the massification of rehabilitation of existing buildings. In any building to be rehabilitated, it is usual the renovation of bathrooms, either because the pipes are damaged, either because functionally and / or aesthetically the bathrooms are inadequate. This work was developed with the collaboration of the Association for the Development of Future House (INOVADOMUS) and Oliveira & Irmão S.A.

This report covers topics related to ancient buildings, the current solutions of prefabricated WC and the sanitary module in the study. Given that this work focus on different topics, this report is divided in two parts.

The first part discusses the old buildings characteristics and evolutions, the characterization of the building where it will be installed the sanitary module (house Santo António - Headquarters InovaDomus) and an analysis of the different bathroom solutions that currently exist. Both the characterization of ancient buildings as that of the Santo António house are only made to the constructive elements associated with the installation and arrangement of the sanitary module.

The second part refers to the analysis and dimensioning of the hydraulic network that constitutes the sanitary module. Initially, a hydraulic layout is designed both for water distribution network as for the sewerage network, which satisfies the versatility regarding the possible arrangements of the sanitary module. After an analysis of the hydraulic components usually employed on site, was done the dimensioning of water distribution network and sewerage network to the previously defined layout. The dimensioning was executed according to the current Portuguese Regulation, the European Standards and the future Portuguese Regulation, where it was produced a posterior comparison of the results obtained. For both dimensioned networks, it was performed a subsequent economic analysis for the various hydraulic components solutions.



# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE QUADROS .....	XI
NOMENCLATURA.....	XV
ACRÓNIMOS .....	XVII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Motivação .....	3
1.3. Objetivos e metodologia .....	3
1.4. Estrutura da dissertação .....	3
PARTE I .....	5
2. Caraterização do edificado antigo .....	5
2.1. Nota introdutória.....	5
2.2. Evolução do espaço habitacional .....	6
2.3. Paredes exteriores .....	13
2.4. Paredes interiores .....	14
2.5. Pavimentos.....	15
2.6. Tetos.....	17
2.7. Instalações sanitárias.....	18
3. Caraterização da casa modelo (Casa Santo António) .....	22
3.1. Introdução .....	22
3.2. Plantas e alçados .....	23
3.3. Mapas.....	27
3.3.1. Mapas de compartimentos .....	27

3.3.2.	Mapas de paredes .....	29
3.4.	Interpretação do sistema estrutural e respetivos materiais .....	30
3.4.1.	Paredes .....	30
3.4.1.1.	Material constituinte .....	31
3.4.1.2.	Espessura.....	33
3.4.1.3.	Descrição estrutural .....	34
3.4.2.	Pavimento.....	36
3.4.2.1.	Material constituinte .....	36
3.4.2.2.	Descrição estrutural – pavimentos elevados .....	38
3.4.2.3.	Vigas .....	38
3.4.2.4.	Elementos de betão armado .....	40
3.4.2.5.	Tarugos .....	42
3.4.2.6.	Soalho .....	42
3.5.	Rede hidráulica sanitária existente .....	42
3.6.	Localização do módulo sanitário na Casa Santo António .....	43
4.	Soluções de WC existentes .....	47
4.1.	WC tradicional.....	47
4.2.	WC pré-fabricado .....	52
4.3.	Sistemas autoportantes para aparelhos sanitários suspensos .....	63
4.4.	Equipamentos sanitários .....	67
PARTE II – Módulo sanitário .....		69
5.	Sistema de WC modular em desenvolvimento .....	69
5.1.	Caraterização geral .....	69
5.2.	Análise dos componentes hidráulicos.....	74
5.2.1.	Análise técnica dos tubos de distribuição de água .....	74

---

5.2.1.1.	Polietileno (PE) .....	76
5.2.1.2.	Polietileno reticulado (PEX) .....	78
5.2.1.3.	Policloreto de vinilo clorado (PVC-C ou C-PVC) .....	80
5.2.1.4.	Polipropileno (PP) .....	82
5.2.1.5.	Polibutileno (PB) .....	83
5.2.1.6.	Cobre (Cu) .....	84
5.2.1.7.	Aço inoxidável (AI) .....	86
5.2.1.8.	Aço galvanizado (AG) .....	87
5.2.1.9.	Multicamada .....	89
5.2.2.	Análise técnica dos tubos de drenagem de águas residuais .....	91
5.2.2.1.	Ferro fundido (FF) .....	92
5.2.2.2.	Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U) .....	93
5.2.2.3.	Polietileno de alta densidade (PEAD) .....	95
5.2.2.4.	Polipropileno (PP) .....	96
5.2.2.5.	Tubagens “insonorizadas” .....	97
5.3.	Dimensionamento do sistema hidráulico presente no módulo sanitário .....	99
5.3.1.	Introdução .....	99
5.3.2.	Dimensionamento da rede de distribuição de água quente e fria .....	100
5.3.2.1.	Regulamento Geral Português - RGSPPDADAR .....	100
5.3.2.2.	Norma Europeia - EN 806-3 .....	102
5.3.2.3.	Futuro Regulamento Predial Português .....	104
5.3.2.4.	Análise de resultados entre os diferentes métodos de dimensionamento	105
5.3.3.	Dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais domésticas .....	113
5.3.3.1.	Regulamento Geral Português - RGSPPDADAR .....	113

5.3.3.2.	Norma Europeia - EN 12056-2 e futuro Regulamento Português .....	116
5.3.3.3.	Análise de resultados entre os diferentes métodos de dimensionamento 122	
5.4.	Análise económica das diferentes soluções do sistema hidráulico.....	125
5.4.1.	Introdução.....	125
5.4.2.	Análise económica das redes de distribuição de água.....	127
5.4.3.	Análise económica da rede de drenagem de águas residuais .....	132
6.	CONCLUSÕES.....	138
6.1.	Conclusões gerais .....	138
6.2.	Desenvolvimentos futuros .....	141
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	143



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Plantas de habitações com recente aplicação de instalações sanitárias [5].....	6
Figura 2- Planta de habitação de Alvalade [5] .....	7
Figura 3- Plantas de habitações da década de 60 [7] .....	8
Figura 4- Planta de habitação de Monsanto, 1986 [8] .....	9
Figura 5- Planta de habitação no Parque da Europa, 1991 [8] .....	9
Figura 6- Distribuição de alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo o escalão de área útil, por época de construção do edifício [2].....	10
Figura 7- Área média útil dos alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo a época de construção do edifício [2].....	10
Figura 8- Número de edifícios habitacionais segundo a época de construção do edifício [2] .....	11
Figura 9- Distribuição de edifícios habitacionais segundo o número de pisos, por época de construção [2] .....	11
Figura 10- Distribuição de alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo o número de divisões, por época de construção [2] .....	12
Figura 11- Número médio de divisões dos alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo a época de construção do edifício [2].....	12
Figura 12- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede exterior [6] .....	13
Figura 13- Evolução construtiva das paredes exteriores .....	13
Figura 14- Distribuição de edifícios habitacionais segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício [2] .....	14
Figura 15- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede interior [6] .....	15
Figura 16- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede exterior [6] .....	16
Figura 17- Pormenor construtivo do pavimento térreo / parede exterior [6].....	17
Figura 18- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / teto [6] .....	18
Figura 19-Planta e cortes da rede de distribuição de água numa instalação sanitária antiga [9] .....	19
Figura 20- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede interior em zona húmida [6] .....	19
Figura 21- Ilustração de vários espaços sanitários,1969 [1].....	20

Figura 22- Soluções de instalação hidráulica (à esquerda) [6] e passagem da rede hidráulica e elétrica por teto falso (à direita).....	21
Figura 23- Proporção de alojamentos familiares, ocupados como residência habitual segundo o tipo de carência de infraestrutura básica, por época de construção do edifício [2] .....	22
Figura 24- Casa Santo António – Sede da InovaDomus (Ílhavo) .....	23
Figura 25- Planta do piso térreo [10] .....	24
Figura 26- Planta do piso 1 [10].....	24
Figura 27- Planta do piso 2 [10].....	25
Figura 28- Alçado principal [10].....	25
Figura 29- Alçado lateral esquerdo [10] .....	26
Figura 30- Alçado lateral direito [10] .....	26
Figura 31- Alçado posterior [10].....	27
Figura 32- Compartimentação do piso 1 .....	28
Figura 33- Compartimentação do piso 2 .....	28
Figura 34- Mapa de paredes do piso 1 .....	29
Figura 35- Mapa de paredes do piso 2 .....	30
Figura 36- Mapa de materiais do piso 1 .....	32
Figura 37- Mapa de materiais do piso 2 .....	32
Figura 38- Planta com sobreposição das paredes do piso 1. Piso térreo. ....	35
Figura 39- Planta com sobreposição das paredes interiores do piso 2. Piso 1 .....	35
Figura 40- Representação da estrutura do pavimento. Piso 1 .....	37
Figura 41- Representação da estrutura do pavimento. Piso 2 .....	37
Figura 42- Entrega de uma viga de piso na parede de fachada. ....	39
Figura 43- Entrega de uma viga na parede de fachada. ....	39
Figura 44- Esquema estrutural da laje do piso 1. ....	40
Figura 45- Esquema estrutural da laje do piso 2 .....	40
Figura 46- Corte representativo da ligação entre viga e pilar ilustrado a vermelho na Figura 44.....	41
Figura 47- Corte transversal de um pilar ilustrado a vermelho na Figura 44.....	41
Figura 48- Corte transversal de uma viga estrutural ilustrado a azul na Figura 44.....	41
Figura 49- Vista geral do soalho .....	42

Figura 50- Registo fotográfico de possíveis alterações da rede hidráulica .....	43
Figura 51- Planta do piso 2 com a área delimitada para a instalação do módulo sanitário .	44
Figura 52- Corte AA' identificado na Figura 51 .....	44
Figura 53- Corte BB' identificado na Figura 51 .....	45
Figura 54- Local da futura instalação do sanitário pré-fabricado consoante o posicionamento expresso na Figura 53.....	45
Figura 55- Planta do piso 1 com sobreposição das paredes interiores do piso 2 e com a localização da futura instalação do sanitário modular (demarcado em tons de cinza claro).....	46
Figura 56- Esquema estrutural da laje do piso 2 com a localização da futura instalação do sanitário modular (demarcado em tons de cinza claro) .....	46
Figura 57- Disposição corrente dos instrumentos sanitários num WC tradicional [11].....	47
Figura 58- Tipologias dos sifões [12].....	48
Figura 59- a) Lavatório de coluna, de consola e de embutir, respetivamente; b) Sanita clássica e sanita suspensa (consola), respetivamente [11].....	51
Figura 60- Imagem comercial do <i>Standard Prefabricated Bathroom</i> de Goldberg [23]....	53
Figura 61- Monobloco sanitário produzido pelo grupo Pavicentro [16] .....	55
Figura 62- Transporte, elevação e posicionamento do monobloco do grupo Pavicentro [16] .....	55
Figura 63- Monobloco de WC pré-fabricado “Banheiro Pronto” da Tecnobagno [17] .....	56
Figura 64- a) Monobloco da Tecnobagno no sistema de betão armado [17]; b) Monobloco da Tecnobagno no sistema de placas de gesso cartonado [17].....	57
Figura 65- Rede de abastecimento de água, do monobloco da Tecnobagno, com tubagem de PEX [17] .....	57
Figura 66- Rede de drenagem de águas residuais, do monobloco da Tecnobagno, com tubagem de PVC [17] .....	58
Figura 67- Elevação e posicionamento, do monobloco da Tecnobagno, em obra [17] .....	58
Figura 68- Cronograma comparativo entre o tempo de construção com o sistema convencional e com o sistema incluindo o WC pré-fabricado, segundo a Tecnobagno [17] .....	59
Figura 69- WCs pré-fabricados da AquaDream: AquaCool, AquaZeen e AquaComfort (AquaRelax), respetivamente [18].....	59

Figura 70- Modelo AquaComfort (AquaRelax) composto por 8 partes [18].....	60
Figura 71- a) Dimensões em planta do modelo AquaCool [18]; b) Dimensões em planta do modelo AquaZeen [18]; c) Dimensões em planta do modelo AquaComfort (AquaRelax) [18].....	61
Figura 72- a) Monobloco de WC Tradiline® da Altior [19]; b) Versatilidade possível com o monobloco de WC Tradiline® da Altior [19] .....	62
Figura 73- Estrutura autoportante para lavatório suspenso [20] .....	63
Figura 74- Estrutura autoportante para sanita suspensa [20] .....	65
Figura 75- Estrutura Tece para instalações sanitárias [21] .....	66
Figura 76- Estrutura Tece com maiores dimensões em profundidade [21] .....	67
Figura 77- a) Módulo sanitário da OLI [20]; b) Módulo W+W da Roca [22] .....	68
Figura 78- Módulo sanitário em análise.....	69
Figura 79- Planta e alçados do módulo sanitário respeitantes à rede de distribuição de água .....	70
Figura 80- Planta e alçados do módulo sanitário respeitantes à rede de drenagem de água residuais.....	71
Figura 81- Versatilidade do módulo sanitário quanto à rede de distribuição de água .....	72
Figura 82- Versatilidade do módulo sanitário quanto à rede de drenagem de águas residuais .....	72
Figura 83- Comparação de vários fatores entre os WCs tracionais, os monoblocos sanitários comuns no mercado e o módulo sanitário em estudo [adaptado de 19] .....	74
Figura 84- a) Varas de tubagem de PEAD [27]; b) Rolo de tubo de PEAD [27]. .....	77
Figura 85- a) União entre tubos de PEAD com soldadura topo a topo [26]; b) União entre tubos de PEAD com auxílio de uma manga [32]. .....	78
Figura 86- Acessórios para tubagens de polietileno. Curva de 90°, tê, união com redução e tampão, respetivamente, em polietileno [36]. .....	78
Figura 87- Tubagem PEX em rolo e em varas, respetivamente [39]. .....	79
Figura 88- Acessórios em latão para tubagens PEX [39].....	80
Figura 89- Acessórios de click / press [39] [40]. .....	80
Figura 90- Tubagens de PVC-C [43]. .....	81
Figura 91- Acessórios de policloreto de vinilo clorado munidos com uma inserção em latão e anel de vedação em borracha [44]. .....	82

Figura 92- Tubagem de polipropileno [47].	82
Figura 93- Acessórios em polipropileno [26].	83
Figura 94- Tubagens de polibutileno em varas e em rolo.	83
Figura 95- Tubagens de cobre [50].	85
Figura 96- a) Acessórios em cobre; b) Brasagem de uma união curva de 90° [54].	86
Figura 97- Tubagem de aço inoxidável [26].	86
Figura 98- Acessórios de compressão e respetiva ferramenta manual [52].	87
Figura 99- Tubagens de aço galvanizado.	88
Figura 100- Acessórios e tubos de multicamada [58].	89
Figura 101- Acessórios <i>press fitting</i> e equipamento manual de aperto [32]	90
Figura 102- Acessórios metálicos de aperto roscado [32].	90
Figura 103- Tubagens e acessórios em ferro fundido [26]	92
Figura 104- Tubos de PVC-U [26].	93
Figura 105- Ligação entre tubos executada com abocardamento para colagem [32].	94
Figura 106- Tubos de PEAD [54].	95
Figura 107- Acessórios de PEAD [55]	96
Figura 108- Malha linear em tubagem de PP [32].	96
Figura 109- Acessórios em PP [32].	97
Figura 110- Tubagens e acessórios “insonorizados” [32].	98
Figura 111- Tubagem e acessórios “insonorizados” com nervuras [55].	98
Figura 112 - Curvas de dimensionamento do RGSPDADAR para o conforto normal (Método Delebecque) [67].	102
Figura 113- Gráfico para determinação do caudal de cálculo [68]	104
Figura 114- Planta e alçados da rede de abastecimento de água presente no módulo, segundo o RGSPDADAR e a EN 806-3.	112
Figura 115- Planta e alçados da rede de abastecimento de água presente no módulo, segundo o futuro Regulamento Português	112
Figura 116- Determinação dos caudais de cálculo de águas residuais domésticas em função dos caudais acumulados [66]	115
Figura 117- Ramais de descarga não ventilados nos sistemas I, II e IV [69].	120
Figura 118- Planta e alçados da rede de drenagem de águas residuais referentes ao módulo, segundo o RGSPDADAR.	124

Figura 119- Planta e alçados da rede de drenagem de águas residuais referentes ao módulo, segundo o EN 12056-2 e o futuro Regulamento Português .....	125
Figura 120- Custo total da rede de abastecimento de água, do módulo sanitário, para as diferentes soluções [26][29][47][60][71] .....	127
Figura 121- Relação do tempo de instalação das diferentes redes de distribuição de água [71] .....	131
Figura 122- Custo total da rede de drenagem de águas residuais do módulo sanitário [26][32].....	133
Figura 123- Relação do tempo de instalação das diferentes redes de drenagem de águas residuais [71] .....	136

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Áreas brutas por tipologia do fogo [4] .....	7
Quadro 2- Áreas mínimas e características para instalações sanitárias [4] .....	20
Quadro 3- Características das paredes do piso 1 .....	33
Quadro 4- Características das paredes do piso 2 .....	34
Quadro 5- Quadro síntese dos tubos de polietileno de alta densidade [26] [27] [28] [29] [30] [33].....	77
Quadro 6- Quadro síntese dos tubos de polietileno reticulado [26] [35] [37] [38] [39].....	79
Quadro 7- Quadro síntese dos tubos de policloreto de vinilo clorado [26] [29] [33] [41] [42] [45].....	81
Quadro 8- Quadro síntese dos tubos de polipropileno [30] [33] [46] [47] [48] .....	82
Quadro 9- Quadro síntese dos tubos de polibutileno [33] [59] [60] [61].....	84
Quadro 10- Quadro síntese dos tubos de cobre [30] [34] [51] [52] [53] [65]. .....	85
Quadro 11- Quadro síntese dos tubos de aço inox [26] [55] [65]. .....	87
Quadro 12- Quadro síntese dos tubos de aço galvanizado [26] [34] [51] [56] [65].....	88
Quadro 13- Quadro síntese dos tubos de parede multicamada [32] [53] [57] [65] .....	89
Quadro 14- Quadro síntese dos tubos de ferro fundido [26] [34] [60].....	92
Quadro 15- Quadro síntese dos tubos de PVC-U [34] [59].....	94
Quadro 16- Caudais mínimos expressos em l/s dos aparelhos sanitários presentes no módulo sanitário [66] .....	100
Quadro 17- Caudais instantâneos associados aos aparelhos sanitários presentes no módulo de acordo com a EN806-3 [68] .....	103
Quadro 18- Caudais mínimos expressos em l/s dos aparelhos sanitários presentes no módulo sanitário segundo o Futuro Regulamento Português.....	105
Quadro 19- Diâmetros comerciais e respetivas características [adaptado de 32].....	106
Quadro 20- Traçado da rede de distribuição de água fria.....	106
Quadro 21- Traçado da rede de distribuição de água quente .....	106
Quadro 22- Diâmetros comerciais e respetivas características consoante o Regulamento Português e a EN 806-3 .....	107
Quadro 23- Diâmetros comerciais e respetivas características consoante o futuro Regulamento Português.....	108

Quadro 24- Dimensionamento da tubagem de água fria efetuado para o autoclismo, lavatório e chuveiro segundo o RGSPDADAR .....	109
Quadro 25- Dimensionamento da tubagem de água fria efetuado para o autoclismo, lavatório e chuveiro segundo a EN 806-3 .....	109
Quadro 26- Dimensionamento da tubagem de água fria efetuado para o autoclismo, lavatório e chuveiro segundo o futuro Regulamento Português .....	109
Quadro 27- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água fria segundo o RGSPDADAR .....	109
Quadro 28- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água fria segundo a EN 806-3.....	110
Quadro 29- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água fria segundo o futuro Regulamento Português.....	110
Quadro 30- Dimensionamento da tubagem de água quente efetuado para o lavatório e chuveiro segundo o RGSPDADAR .....	110
Quadro 31- Dimensionamento da tubagem de água quente efetuado para o lavatório e chuveiro segundo a EN 806-3 .....	110
Quadro 32- Dimensionamento da tubagem de água quente efetuado para o lavatório e chuveiro segundo o futuro Regulamento Português .....	111
Quadro 33- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água quente segundo o RGSPDADAR .....	111
Quadro 34- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água quente segundo a EN 806-3.....	111
Quadro 35- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água quente segundo o futuro Regulamento Português.....	111
Quadro 36- Caudais mínimos de descarga, expressos em l/min, dos aparelhos sanitários presentes no módulo [66] .....	113
Quadro 37- Diâmetros mínimos dos ramais de descarga individuais presentes no módulo [66] .....	114
Quadro 38- Caudais, diâmetros dos tubos de queda e taxas de ocupação [66].....	116
Quadro 39- Caudais de descarga dos aparelhos sanitários presentes no módulo em "Unidades de Descarga" adaptado, DU (Sistema I) [24]. .....	118
Quadro 40- Valores típicos do fator de frequência [24].....	119



Quadro 41- Diâmetros nominais (DN) para ramais de descarga não ventilados em função da capacidade hidráulica ( $Q_{máx}$ ) [24] .....	120
Quadro 42- Limitações a considerar em ramais não ventilados do sistema I [24] .....	120
Quadro 43- Caudais mínimos de ar para válvulas de admissão de ar em ramais de descarga [24] .....	121
Quadro 44- Caudais máximos ( $Q_{máx}$ ) em tubos de queda com ventilação primária, em função dos respetivos diâmetros nominais [24] .....	121
Quadro 45- Diâmetros exteriores e interiores do tubo “insonorizado” [32] .....	122
Quadro 46- Resultados obtidos no dimensionamento dos ramais de descarga individuais presentes no módulo segundo os dois métodos, RGSPDADAR e EN 12056-2 / futuro Regulamento Português .....	123
Quadro 47- Resultados obtidos no dimensionamento do ramal de descarga coletivo presente no módulo segundo os três métodos, RGSPDADAR e EN 12056-2 / futuro Regulamento Português .....	123
Quadro 48- Resultados obtidos no dimensionamento do tubo de queda relativo ao módulo segundo os três métodos, RGSPDADAR e EN 12056-2 / futuro Regulamento Português .....	124
Quadro 49- Quantidade de componentes para os diferentes diâmetros nominais presentes na rede de distribuição de água .....	128
Quadro 50- Custo total da rede de distribuição de água para as diferentes soluções [26][29][47][60][71] .....	128
Quadro 51- Correlação entre preços dos tubos por metro linear (medidos em percentagem) [26][29][47][60] .....	129
Quadro 52- Correlação entre acessórios por unidade (medidos em percentagem) [26][47] .....	130
Quadro 53- Correlação entre custos totais das diferentes soluções (medidos em percentagem) [26][29][47][60][71] .....	131
Quadro 54- Quantidade de componentes presentes na rede de drenagem de águas residuais do módulo sanitário .....	134
Quadro 55- Custo total da rede de drenagem de águas residuais para as diferentes soluções [26][32][71] .....	134

Quadro 56- Correlação entre preços dos tubos por metro linear (medidos em percentagem) [26][32].....	135
Quadro 57- Correlação entre acessórios por unidade (medidos em percentagem) [26][32] .....	136
Quadro 58- Correlação entre os custos totais das soluções (medidos em percentagem) [26][32][71].....	137

## NOMENCLATURA

### PARTE I

<i>m</i>	Metros;
<i>cm</i>	Centímetros;
<i>mm</i>	Milímetros;
<i>kg</i>	Quilogramas;
<i>V</i>	Volts;
<i>kN</i>	Quilo Newton;
<i>kgf</i>	Quilograma força;
<i>Mpa</i>	Mega Pascal;
<i>DN</i>	Diâmetro nominal.

### PARTE II

<i>Br</i>	Bacia de retrete;
<i>Lv</i>	Lavatório;
<i>Ch</i>	Chuveiro;
<i>UV</i>	Ultra Violeta;
<i>°C</i>	Graus centígrados;
<i>Q<sub>a</sub></i>	Caudal acumulado;
<i>Q<sub>c</sub></i>	Caudal de cálculo;
<i>k</i>	Coefficiente de simultaneidade;
<i>V</i>	Velocidade;
<i>LU</i>	Unidade de carga;
<i>l</i>	Litros;
<i>s</i>	Segundos;
<i>min</i>	Minutos;
<i>t<sub>s</sub></i>	Taxa de ocupação;
<i>Q<sub>tot</sub></i>	Caudal total de cálculo;

$DU$	Unidade de descarga;
$Q_{esg}$	Caudal de águas residuais domésticas;
$Q_{cont}$	Caudal contínuo;
$Q_{bomb}$	Caudal de bombagem;
$K$	Fator de frequência;
$Q_{ar}$	Caudal mínimo de ar.

## ACRÓNIMOS

DECivil	Departamento de Engenharia Civil;
WC	<i>Water Closet</i> (Casa de banho);
INE	Instituto Nacional de Estatísticas;
RGEU	Regulamento Geral das Edificações Urbanas;
PE	Polietileno;
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade;
PEMD	Polietileno de Média Densidade;
PEAD	Polietileno de Alta Densidade;
PEX	Polietileno Reticulado;
PVC-C	Policloreto de Vinilo Clorado;
PP	Polipropileno;
Cu	Cobre;
AI	Aço Inoxidável;
AG	Aço Galvanizado;
ANQIP	Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais;
CE	Conformidade Europeia;
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
FF	Ferro Fundido;
PVC-U	Policloreto de Vinilo;
RRAE	Regulamento dos Requisitos Acústicos nos Edifícios;
RGSPDADAR	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais;
EN	Norma Europeia;
UA	Universidade de Aveiro.



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

O presente relatório faz parte do plano curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Civil (MIEC), promovido pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro (DECivil), que integra no seu ciclo de estudos conducente ao grau de Mestre a unidade curricular de Dissertação/Projeto/Estágio.

Este relatório baseia-se na unidade curricular de Dissertação, onde se pretende estudar a viabilidade da aplicação de módulos sanitários pré-fabricados na reabilitação do edificado antigo, abrangendo as componentes hidráulicas e construtivas. Hoje em dia, a reabilitação tem uma grande importância e afirma-se como a primordial solução para a construção civil. Em qualquer edifício a reabilitar, é usual a reabilitação das instalações sanitárias, seja porque as tubagens se encontram degradadas, seja porque funcionalmente e/ou esteticamente os WCs se encontram desadequados. O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto MoBaK (Modular Bathroom Kit) de copromoção entre a Oliveira & Irmão S.A., Italbox e Universidade de Aveiro, com a colaboração da Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro (INOVADOMUS).

Atualmente é urgente solucionar os elevados custos implícitos à construção civil, sem que essa solução implique uma diminuição da qualidade e conforto proporcionados pelo utilizador. O módulo sanitário em estudo visa ser uma opção face à reabilitação das instalações sanitárias ou na criação de um novo WC numa habitação. Pretende-se que o módulo seja um produto versátil e que satisfaça vários fatores tais como o transporte até ao local de instalação (leveza e dimensões razoáveis), as possíveis disposições consoante o local a instalar, uma instalação económica a nível de tempo, de desperdícios, de espaço, entre outros. De modo a economizar a instalação, a montagem do módulo sanitário é efetuada de forma simples e com uso de ferramentas básicas.

Este relatório aborda tópicos referentes ao edificado antigo, às soluções de instalações sanitárias e ao módulo sanitário em estudo. Uma vez que este trabalho incide em tópicos distintos, o presente relatório divide-se em duas partes.

A primeira parte aborda algumas características do edificado antigo e a sua evolução ao longo dos anos, dando mais ênfase aos edifícios antigos presentes na zona Portuense. É importante salientar que são apenas referidos os elementos construtivos associados à instalação do WC pré-fabricado. Assim, é feita uma caracterização das paredes, pavimentos, tetos e instalações sanitárias. Da mesma forma, é realizado um levantamento destes elementos construtivos para a casa Santo António. A casa Santo António, sede da InovaDomus, será o espaço onde ocorrerá a instalação do primeiro protótipo do módulo sanitário. Sendo assim, é efetuado um levantamento de plantas e alçados assim como caracterização dos elementos construtivos que interferem direta ou indiretamente com a instalação do módulo. Ainda na primeira fase desta dissertação são apresentadas algumas soluções de WCs. Existe uma vasta gama de soluções para as instalações sanitárias, desde monoblocos pré-fabricados a estruturas autoportantes para os equipamentos sanitários. Neste capítulo é feita uma abordagem sucinta a algumas soluções referentes às instalações sanitárias.

A segunda parte refere-se à análise e dimensionamento da rede hidráulica constituinte do módulo sanitário. Inicialmente, é concebido um traçado hidráulico, tanto para a rede de distribuição de água como para a rede de drenagem de águas residuais, que satisfaça a versatilidade quanto às possíveis disposições do módulo sanitário. Ou seja, a mesma rede, tanto de distribuição como a de drenagem, pode ter várias configurações. Nesta mesma parte da dissertação é realizada uma análise sintetizada às componentes hidráulicas vulgarmente comercializadas em Portugal. Para os traçados anteriormente concebidos, são efetuados os dimensionamentos da rede de distribuição de água e da rede de drenagem de águas residuais. O dimensionamento efetuou-se segundo o atual Regulamento Português, as Normas Europeias e o futuro Regulamento Português, onde se elaborou uma posterior comparação dos resultados obtidos. Para as várias soluções hidráulicas foram realizadas análises económicas para ambas as redes, com os valores monetários obtidos em catálogos comerciais.



## **1.2. Motivação**

A base motivacional impulsionada para a realização da presente dissertação, deve-se ao facto de se poder aplicar os conhecimentos teóricos apreendidos durante o curso de mestrado aliado à conceção de um produto inovador. Outro fator que teve um peso importante na escolha deste tema deve-se ao contacto com entidades empresariais.

## **1.3. Objetivos e metodologia**

O presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade da aplicação de WCs pré-fabricados na reabilitação de edifícios, abrangendo as componentes hidráulicas e construtivas. Visto que a reabilitação de edifícios está em voga é necessário criar soluções construtivas alternativas que satisfaçam fatores económicos, temporais, entre outros. Assim sendo, é necessário perceber, de um modo geral, a constituição do edificado antigo e a sua evolução ao longo do tempo, de forma a perceber as características que o módulo sanitário deverá possuir. Da mesma forma será feita uma caracterização aos elementos construtivos de um dado edifício (Casa Santo António), do qual será local da futura instalação de um módulo sanitário. As soluções de WC existentes são um ponto fulcral a ser analisado, sendo um tópico importante no desenvolvimento do módulo sanitário em estudo. Depois de uma análise ao edificado antigo e às soluções existentes de instalações sanitárias, será objeto de estudo a parte hidráulica referente ao módulo sanitário. Dentro deste contexto pretende-se dimensionar um traçado hidráulico, tanto para a rede de distribuição de água como para a rede de drenagem de águas residuais, que permita ao módulo sanitário ser instalado em várias disposições. Após o dimensionamento de ambas as redes deverá ser efetuada uma análise económica que compare as várias soluções de tubagens e acessórios.

## **1.4. Estrutura da dissertação**

No sentido de realizar os objetivos propostos, a exposição do trabalho desenvolvido encontra-se dividida em 6 capítulos.

O presente capítulo apresenta uma introdução ao que se pretende desenvolver neste trabalho, bem como os seus objetivos.

O capítulo 2 é referente à caracterização do edificado antigo. Esta caracterização é apenas feita para os elementos construtivos associados direta ou indiretamente à instalação do módulo sanitário, sendo eles as paredes exteriores e interiores, pavimentos, tetos e instalações sanitárias existentes. Neste mesmo capítulo é abordado a evolução do espaço habitacional ao longo do tempo.

No capítulo 3 são abordadas as características dos elementos construtivos referentes à instalação do módulo sanitário na Casa Santo António (Sede InovaDomus). Neste capítulo serão apresentados alçados e plantas alusivos à Casa Santo António.

O capítulo 4 refere, de forma sintetizada, as várias soluções existentes para as instalações sanitárias.

No capítulo 5 dá-se início à parte II deste trabalho e apresenta-se a caracterização geral do módulo sanitário em estudo, bem como os traçados da rede de distribuição de água e da rede de drenagem de águas residuais. Neste capítulo é elaborada uma análise sintetizada às componentes hidráulicas nos diversos materiais, vulgarmente comercializadas para redes hidráulicas prediais. Para o traçado concebido, são dimensionadas ambas as redes através do atual Regulamento Português, das Normas Europeias e do futuro Regulamento Português, sendo os resultados obtidos posteriormente comparados. O último tópico deste capítulo apresenta uma análise económica, para ambas as redes, com os diversos componentes hidráulicos antes abordados.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais sobre a realização deste trabalho e as sugestões para desenvolvimentos futuros.

# PARTE I

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFICADO ANTIGO

### 2.1. Nota introdutória

A intervenção da engenharia civil tem-se alterado ao longo do tempo em função da necessidade de resolução dos problemas construtivos da sociedade. Atualmente, a reabilitação do património monumental e do edificado antigo, em que a pedra, cal e madeira são materiais predominantes, assume uma importância fundamental. Os edifícios antigos são todos os que foram construídos antes da aplicação das estruturas de betão armado, que passaram a ser muito frequentes a partir da segunda guerra mundial [6]. A construção no passado revela formas de construir que duraram vários séculos, recorrendo a um grupo restrito de materiais de entre os quais se destacam a pedra e a madeira.

De acordo com a aplicação do módulo sanitário, os principais elementos construtivos a ter em conta são as paredes exteriores e interiores, pavimento, tetos e em particular as instalações sanitárias. A caracterização dos edifícios antigos presente neste documento foi feita com base no edificado antigo existente na zona norte de Portugal, em específico, na cidade do Porto, uma vez que os sistemas construtivos diferem de zona para zona e seria exaustiva a caracterização de todo o tipo de edificado antigo existente.

Durante a caracterização dos elementos construtivos presentes nos edifícios antigos é apresentada uma análise da evolução do edificado em Portugal com base nos dados expostos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), dados referentes até ao ano 2011 [2]. A análise é composta por gráficos associados aos valores estatísticos referentes aos vários intervalos de tempo, ou seja, desde 1919 a 2011 [2].

Os edifícios construídos após 1970 constituíam 63,1% dos edifícios clássicos do parque habitacional português existente em 2011.

## 2.2. Evolução do espaço habitacional

A evolução histórica das habitações comuns está interagida com as mudanças de necessidades e estratégias de divisão do espaço ao longo do tempo. Evidencia-se, nos séculos XVIII e XIX, um dos primeiros acréscimos de área para a conquista de condições mínimas de higiene nas habitações. A partir de meados a finais do século XIX acelerou-se em Portugal, nomeadamente nas grandes cidades, a construção de prédios de rendimento para habitação, subdivididos em andares para aluguer [6]. A organização destes andares, que em média continham seis a oito divisões, foi progressivamente adquirindo semelhanças tipológicas comuns no território urbano nacional, segundo uma estrutura apoiada num corredor que ligava a entrada à cozinha e à sala de jantar, localizando-se estes aposentos a tardoz. A casa de banho localizava-se, frequentemente, perto da cozinha, nos fundos da habitação como ilustra a Figura 1. A incorporação de casa de banho própria no conjunto da habitação de classe média era já generalizada nas grandes cidades portuguesas nos começos do século XX.

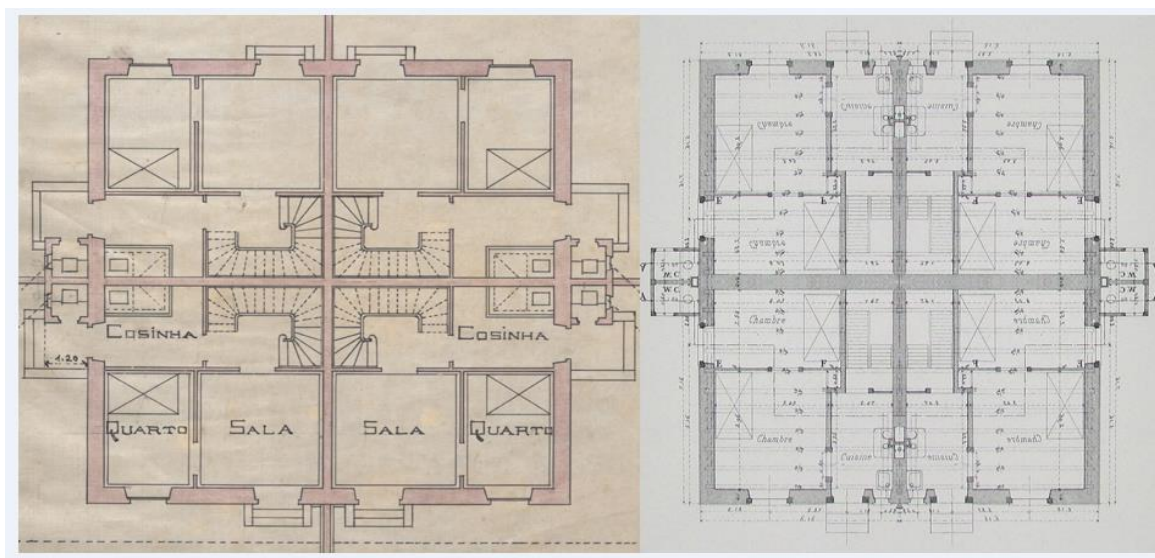


Figura 1- Plantas de habitações com recente aplicação de instalações sanitárias [5]

A casa rural, contudo, não sofreu grande evolução neste período, raramente incluindo compartimentos para sanita ou banhos. Nas casas de maior prestígio, com o decorrer do tempo e com uma maior habituação ao seu uso, a casa de banho vai-se aproximando, progressivamente, dos quartos de dormir, como se verifica na Figura 2 [3].

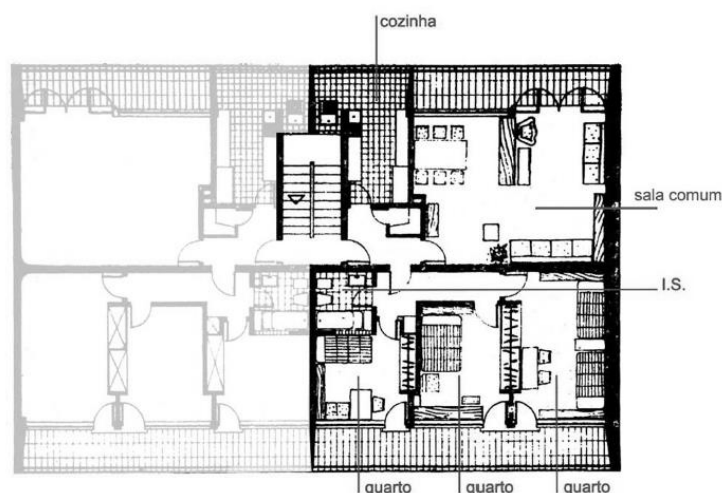


Figura 2- Planta de habitação de Alvalade [5]

Posteriormente, a partir da metade do século XX, a preocupação dos técnicos em definir necessidades mínimas exigiu uma renovação de áreas mínimas. A partir do período pós guerra os níveis mínimos foram sucessivamente ajustados de acordo com a evolução económica e a mutação das exigências.

As áreas mínimas de habitabilidade são estabelecidas, em Portugal, pelo Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) em 1951 [4]. Este regulamento contém exigências pontuais em relação à qualidade na habitação, cujo cumprimento é obrigatório em todos os edifícios, e que apontam geralmente para um nível mínimo. O RGEU, documento regulamentar com algumas alterações introduzidas posteriormente, refere no artigo 67.º as áreas brutas mínimas que os fogos devem ter, mencionado no Quadro 1.

Quadro 1- Áreas brutas por tipologia do fogo [4]

Área Bruta <sup>(1)</sup> (m <sup>2</sup> )	Tipologia do fogo							
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tx>6
	35	52	72	91	105	122	134	1,6 x Ah <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> *Área bruta*- superfície total do fogo, medida pelo perímetro exterior das paredes exteriores.

<sup>(2)</sup> *Área habitável (Ah)*- soma das áreas dos compartimentos da habitação, com exceção de vestíbulos, arrumos, instalações sanitárias e compartimentos de funções idênticas.

Por volta de 1960, o problema das áreas e qualidades mínimas não satisfaziam o conforto funcional das habitações, atingindo-se assim um acréscimo de áreas (área de 50 m<sup>2</sup> para um tipo habitacional de 3/6 pessoas), voltando a subir, pouco tempo depois para áreas em torno dos 50-60 m<sup>2</sup> para o mesmo tipo. Após a realização do estudo “Funções e exigências de áreas da habitação” em 1969, de Nuno Portas, notou-se a necessidade de tomar, como área útil mínima habitacional, cerca de 70 m<sup>2</sup> [1]. As Figuras 3, 4 e 5 demonstram a evolução do espaço habitacional assim como o posicionamento e crescimento do número de quartos de banho nos alojamentos. Os edifícios alusivos às figuras anteriormente referidas foram construídos entre a década de 60 e os anos 90.

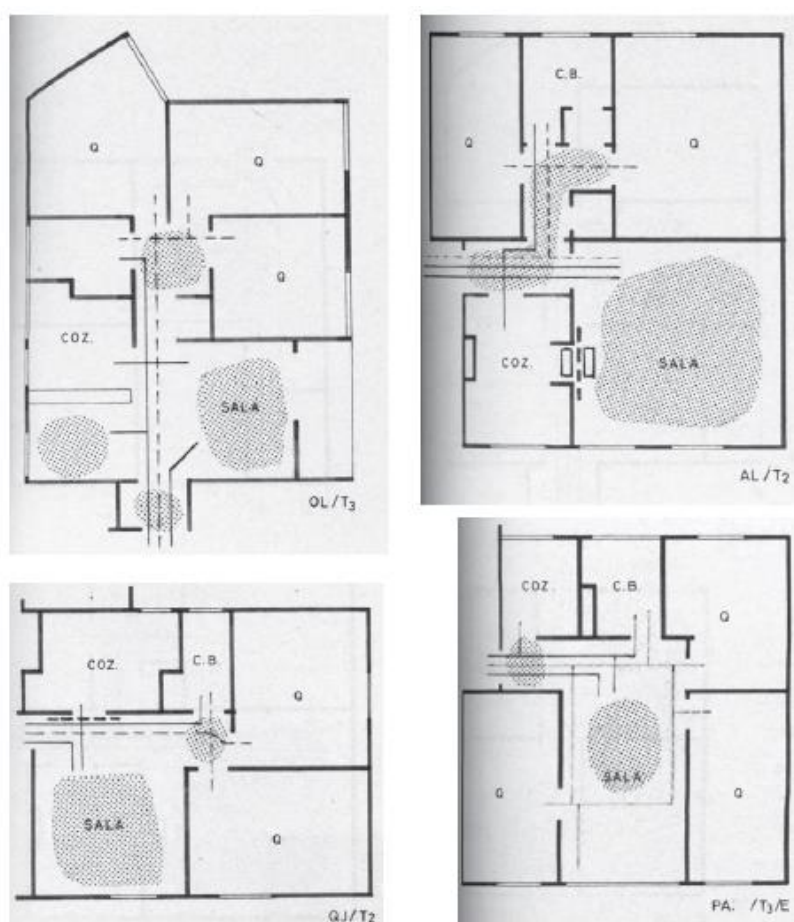


Figura 3- Plantas de habitações da década de 60 [7]

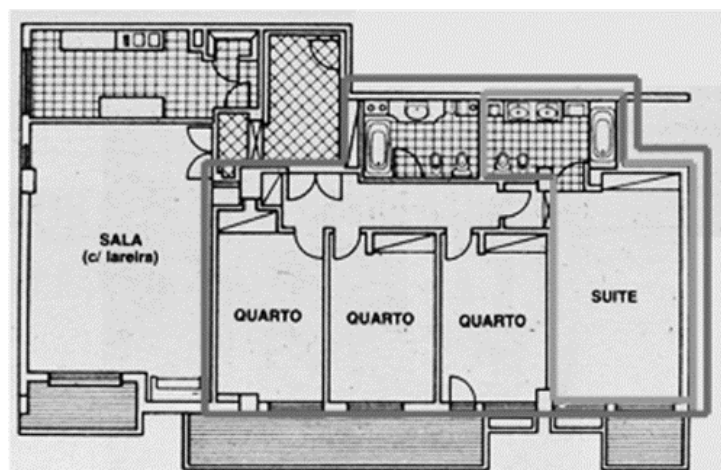


Figura 4- Planta de habitação de Monsanto, 1986 [8]



Figura 5- Planta de habitação no Parque da Europa, 1991 [8]

Quanto à evolução das áreas habitáveis nos edifícios verifica-se, na Figura 6, uma progressão ao longo do tempo e um aumento de áreas úteis nos alojamentos familiares. É notória a diminuição da proporção dos alojamentos com área útil inferior a 60 m<sup>2</sup> ao longo do tempo analisado e, em contrapartida, um aumento dos alojamentos com área igual ou superior a 120 m<sup>2</sup>. Estas mudanças ao nível do espaço habitacional devem-se essencialmente às exigências dos níveis de conforto propostas ao longo do tempo. Nos edifícios anteriores a 1991 verifica-se uma maior abundância de alojamentos com área útil entre 80 m<sup>2</sup> e 120 m<sup>2</sup>. A maioria dos alojamentos situados em edifícios anteriores a 1919 tinham área útil inferior a 80 m<sup>2</sup>, tendo esta proporção começado a diminuir a partir de 1961.

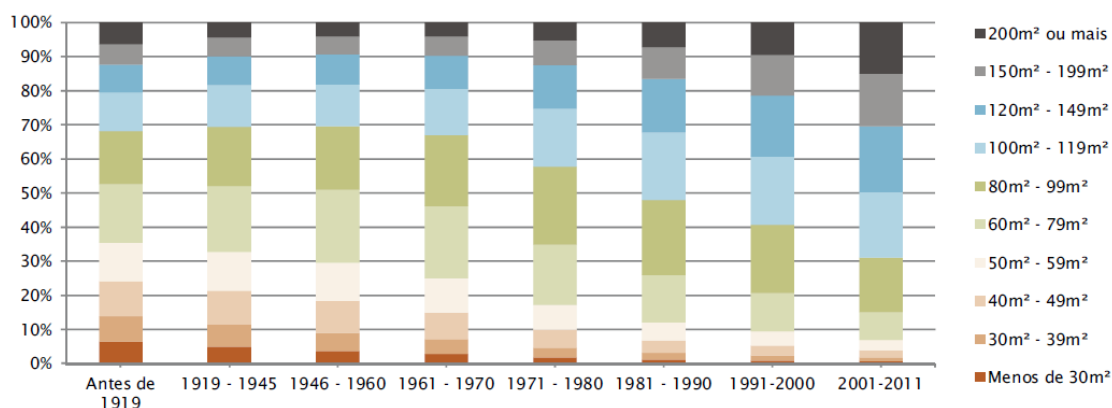


Figura 6- Distribuição de alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo o escalão de área útil, por época de construção do edifício [2]

A Figura 7 apresenta o crescimento percentual da área média útil dos alojamentos familiares entre os edifícios construídos antes de 1919 a 2011. No gráfico é possível observar um aumento de 52,9% da área média útil dos alojamentos entre os edifícios construídos entre 1919 e 1945 com os construídos entre 2001 e 2011.

Nos edifícios do período de 1919 a 1970 verificou-se uma estabilidade quanto às áreas úteis dos alojamentos, apresentando um ligeiro decréscimo de 2,2% entre 1919 e 1960.

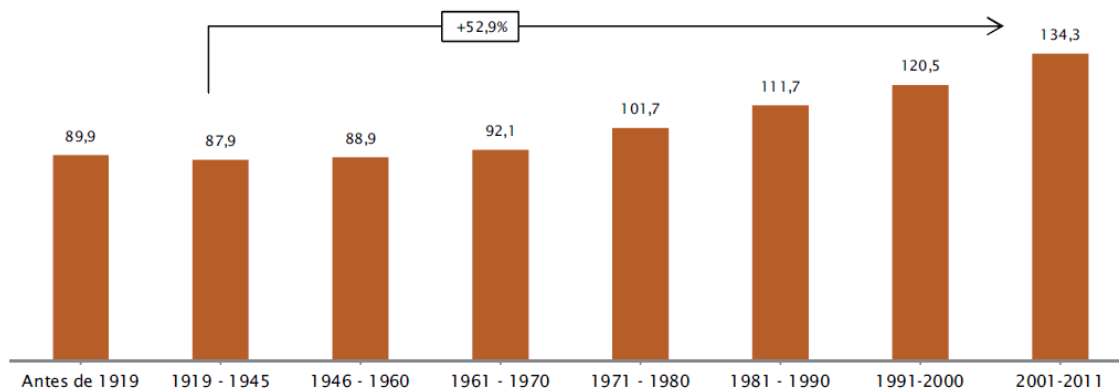


Figura 7- Área média útil dos alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo a época de construção do edifício [2]

A Figura 8 ilustra as taxas de crescimento do parque habitacional português durante as últimas décadas. A percentagem de edifícios construídos a partir de 1971 constituíam 63,1%, alcançando assim o maior pico de construção nova de edifícios habitacionais em Portugal. Os imóveis construídos entre 1946 e 1970 representavam 22,5% do parque habitacional português e os edifícios anteriores a 1946 representavam os restantes 14,4% [2]. É importante salientar o pequeno decréscimo percentual da construção de edifícios habitacionais desde 1980 até 2011.



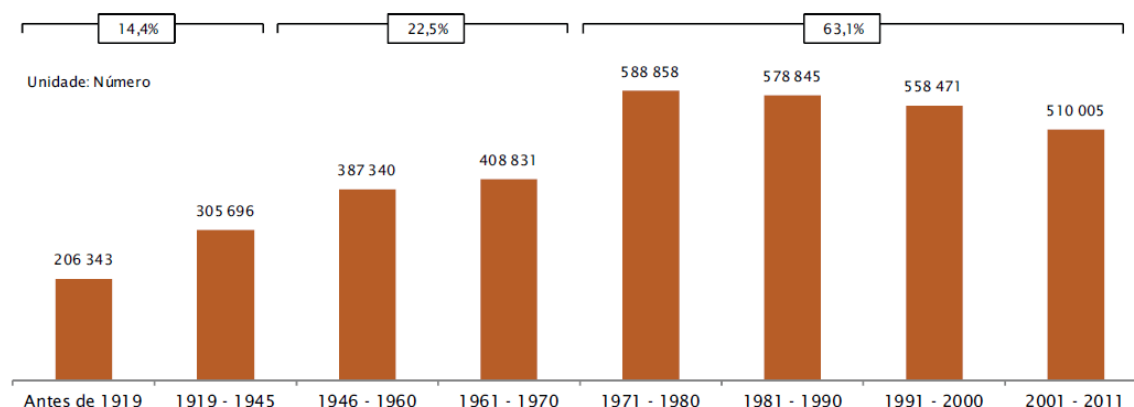


Figura 8- Número de edifícios habitacionais segundo a época de construção do edifício [2]

A intervenção da engenharia civil na construção civil tem-se alterado ao longo das últimas décadas em função da necessidade de soluções construtivas que transfiram benefícios às construções. A exemplo disso, a Figura 9 ilustra a evolução da construção de edifícios em altura ao longo do tempo. A proporção dos edifícios com mais de dois pisos aumentou em épocas mais recentes, passando de 7,1% nos edifícios construídos entre 1919-1945 para 24,4% nos edifícios construídos depois de 2000. Nos edifícios construídos em épocas mais recentes apurou-se uma gradual redução da proporção dos edifícios com um piso, passando de 56,6% nos edifícios construídos entre 1919-1945 para 25,2% nos edifícios construídos entre 2001-2011 [2]. Por outro lado, verificou-se um aumento percentual dos edifícios com dois pisos, passando de 36,3% nos edifícios construídos entre 1919-1945 para 50,4% nos edifícios construídos entre 2001-2011.

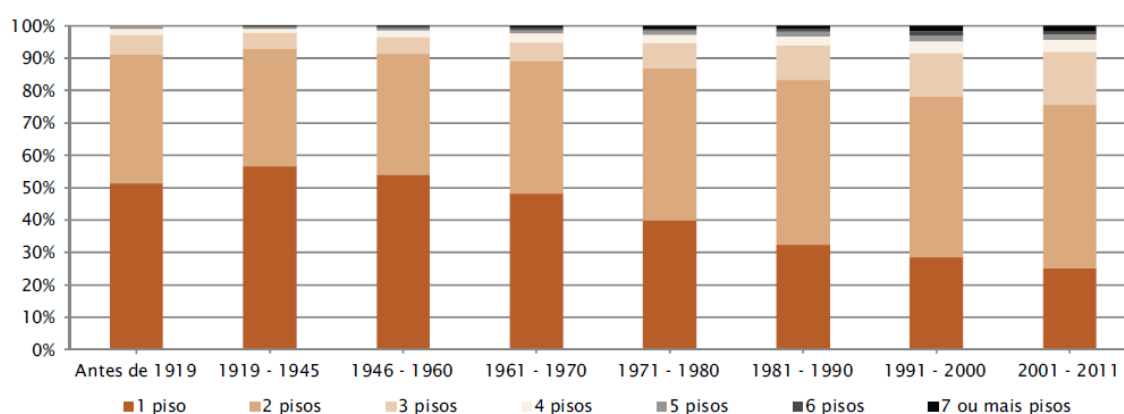


Figura 9- Distribuição de edifícios habitacionais segundo o número de pisos, por época de construção [2]

A variação da distribuição do espaço dos alojamentos habitacionais, segundo o número de divisões por época de construção do edifício, não foi muito acentuada como se verifica na Figura 10. Segundo o gráfico ilustrado na Figura 10 é possível verificar um brando

aumento dos alojamentos com quatro divisões, referente aos edifícios construídos até 1970, e uma diminuição nos edifícios posteriores. Nota-se que, nos edifícios construídos até 1980, era comum a projeção de alojamentos com cinco divisões, tendo diminuído ligeiramente nos edifícios posteriores. O aumento mais perceptível ao longo do tempo, consoante o gráfico da Figura 10, refere-se à construção de alojamentos com seis divisões. Quanto aos alojamentos com mais de sete divisões, a proporção manteve-se praticamente constante nas diferentes épocas de construção dos edifícios [2].

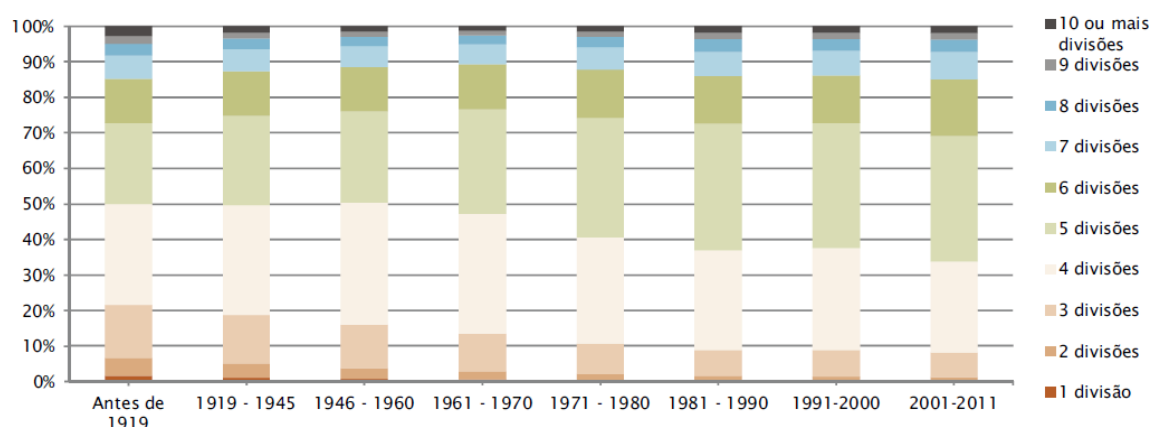


Figura 10- Distribuição de alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo o número de divisões, por época de construção [2]

De forma geral, a variação do número médio de divisões dos alojamentos familiares, em relação aos edifícios construídos entre 1946 e 1960 com os de 2001 a 2011, foi reduzida tendo apenas um aumento de 8,6%. Contudo, verificou-se um ligeiro aumento no número médio de divisões dos alojamentos, tendo o valor mínimo sido atingido para os alojamentos referentes aos edifícios construídos entre 1946 e 1960, como se verifica na Figura 11.

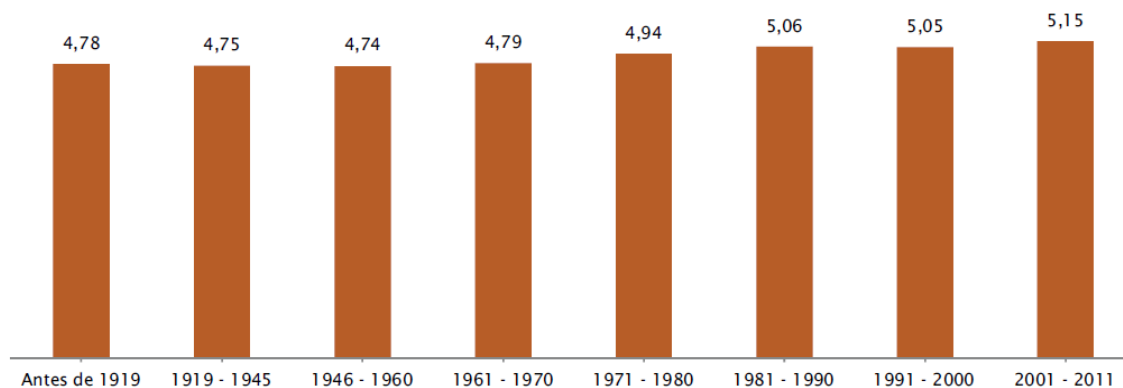


Figura 11- Número médio de divisões dos alojamentos familiares, ocupados como residência habitual, segundo a época de construção do edifício [2]

### 2.3. Paredes exteriores

As paredes exteriores de fachada, normalmente executadas em alvenaria de pedra, são constituídas por peças aparelhadas em cantaria sendo, geralmente, elementos estruturais (Figura 12). Nas casas datadas do século XIX, a espessura das suas paredes relaciona-se diretamente com as dimensões dos vãos e dos elementos tais como portas e janelas. No início do século XX, as paredes das fachadas tendem a diminuir de espessura, verificando-se uma redução de cerca de 1/3, passando assim a medir aproximadamente 45 cm. Pelo interior, todas as paredes são regularizadas com argamassa de cal, areia e saibro com acabamento a estuque através de um barramento de pasta de cal, posteriormente caiado ou pintado. O revestimento exterior das paredes de fachada é de reboco de enchimento e regularização, executado com uma argamassa de saibro, areia e cal, simplesmente caiado ou pintado, sendo que a partir dos meados do século XVIII é possível encontrar acabamentos constituídos por uma fina camada de argamassa à base de cal, areia fina e pigmentos [6].

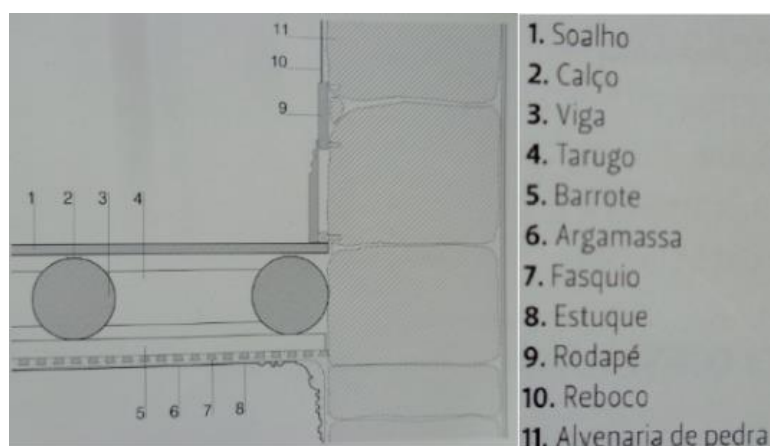


Figura 12- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede exterior [6]

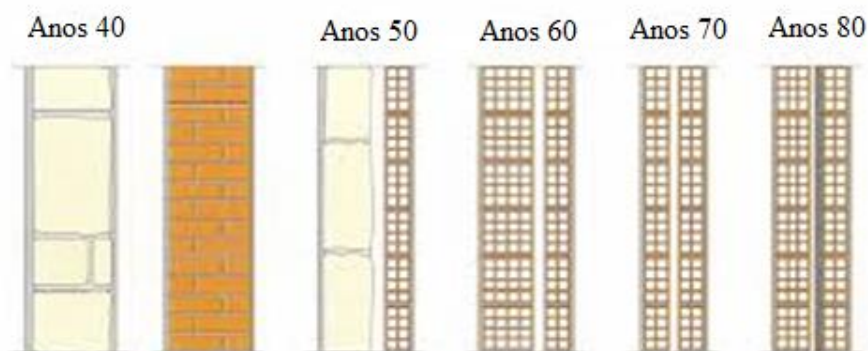


Figura 13- Evolução construtiva das paredes exteriores

A evolução da composição das paredes exteriores baseou-se essencialmente a nível dos materiais utilizados na construção das mesmas e na espessura das paredes, como ilustra a Figura 13. Verifica-se na Figura 14 um aumento progressivo dos elementos de betão armado e uma diminuição acentuada de paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe, nos edifícios construídos antes de 1919 até 1990. Os edifícios compostos por paredes de alvenaria que sustentem lajes pesadas, de betão armado por exemplo, representavam cerca de 1/3 nas diversas épocas de construção.

Os edifícios construídos antes de 1919 destacam-se por terem na sua quase totalidade uma estrutura com paredes de alvenaria que fosse capaz de sustentar uma laje leve (p.e. soalho de madeira) ou com paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe. Estas soluções construtivas devem-se ao facto da inexistência do betão armado nessa mesma altura.

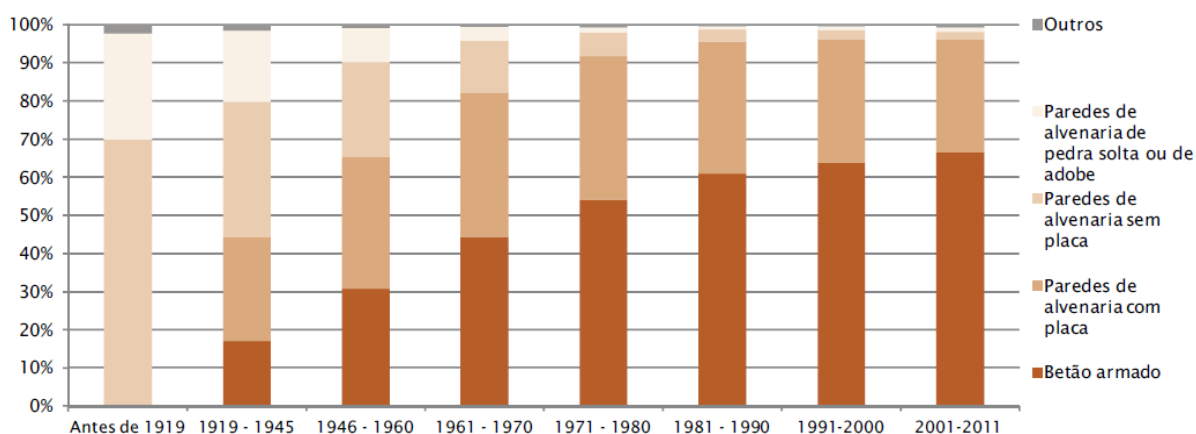


Figura 14- Distribuição de edifícios habitacionais segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção do edifício [2]

## 2.4. Paredes interiores

Nos edifícios do século XVII, as paredes interiores de tabique são constituídas por uma estrutura de barrotes com 7,0 cm de lado dispostos em forma de frechais, prumos e vergas, preenchida por um tabuado com 4,0 a 5,0 cm de espessura afastadas de 1,0 cm, colocadas na vertical e pregadas aos frechais. Em ambas as faces deste tabuado é pregado um fasquiado, até a altura do rodapé, para receber o revestimento de reboco e acabamento em estuque, como se observa na Figura 15. No final do século XVIII e todo o século XIX, a estrutura de barrotes é disposta de forma distinta, preenchida por um duplo tabuado, à semelhança das paredes de tabique exterior.

Segundo o artigo 65.º do RGEU [4], impõe-se uma altura mínima, de piso a piso, em edifícios destinados à habitação de 2,70 m. O pé-direito mínimo não pode ser inferior a 2,40 m. Quanto às instalações sanitárias é possível que o pé-direito se reduza ao mínimo de 2,20 m.

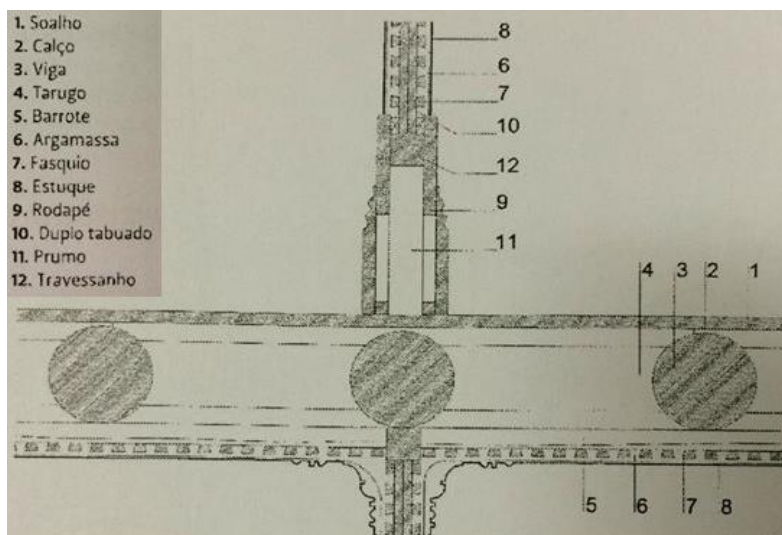


Figura 15- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede interior [6]

## 2.5. Pavimentos

Os pavimentos do edificado antigo são geralmente constituídos por vigas e tábuas de madeira. As vigas, juntamente com os tarugos, representam elementos estruturais do pavimento e o soalho, apesar de também desempenhar funções estruturais, serve essencialmente como revestimento, como a Figura 16 expõe. O vigamento é aplicado em um ou dois níveis estruturais com recurso a vigas totalmente redondas, redondas serradas na face superior ou com outros níveis de transformação até à situação de viga de secção retangular. Para diminuir a deformação e vibração dos pavimentos são utilizados tarugos, normalmente de madeira, que se introduzem transversalmente entre vigas. Os soalhos apresentam espessuras entre 0,025 m e 0,040 m e larguras entre os 12 e os 30 cm. As habitações mais antigas apresentam, regra geral, um tabuado de maiores dimensões, que vai diminuindo ao longo do século XIX. Geralmente, as tábuas são ligadas entre si por ligações tipo macho-fêmea. Em relação às espécies de madeira mais utilizadas em Portugal Continental para a construção dos pavimentos, por ordem decrescente de qualidade, resistência mecânica e durabilidade natural, referem-se o carvalho, o castanho e o pinho bravo [6]. Ao nível da ligação às paredes, muitas vezes encontram-se ligadores metálicos

ou apoios pregados, ambos ligados a frechais de madeira que apoiam nas paredes de pedra em ressaltos localizados ao nível de cada piso. Em outros casos, também frequentes, as vigas de madeira são encastradas nas paredes, sendo normalmente montadas em simultâneo com as paredes com o duplo objetivo de assegurar o travamento horizontal das paredes e reduzir a mão-de-obra necessária á montagem das vigas de pavimento. As entregas das vigas são normalmente preenchidas com alvenaria ordinária e penetram nas paredes pelo menos 0,20 m a 0,25 m.

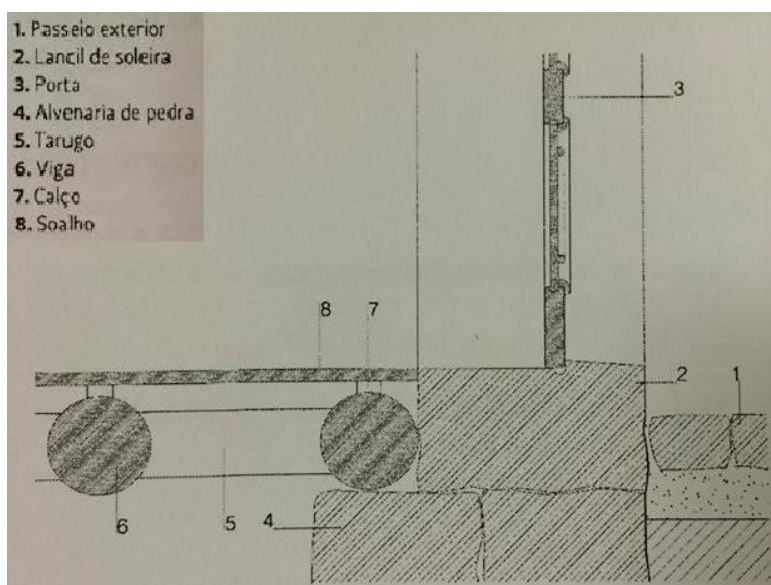


Figura 16- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede exterior [6]

Nos pavimentos com um só nível de vigas, os vãos correntes não ultrapassam os 7,0 a 7,50 m, tendo as vigas diâmetros à volta de 0,20 m a 0,25 m ou secções até  $0,15 \times 0,20 \text{ m}^2$  e ficando espaçadas entre eixos de 0,50 a 0,70 m. Importa referir que, quanto aos pisos térreos, era comum um revestimento com pedra emparelhada sobre terra compacta, como a Figura 17 ilustra. A partir do início do século XX começaram a utilizar-se as secções retangulares, variando a secção entre  $0,08 \times 0,18 \text{ m}^2$  e  $0,12 \times 0,25 \text{ m}^2$  e espaçamentos nunca superiores a 0,50 m, de face a face. Nos pavimentos com dois níveis, os vãos chegam a cerca de 10 m, os diâmetros dos troncos de 0,30 a 0,35 m e os espaçamentos das vigas variam entre 2,0 a 2,5 m [6]. No caso dos vigamentos duplos, sobre as vigas principais aplicam-se os barrotes afastados entre eixos a cerca de 0,50 a 0,70 m, com secções à volta de  $0,08 \times 0,20 \text{ m}^2$ .



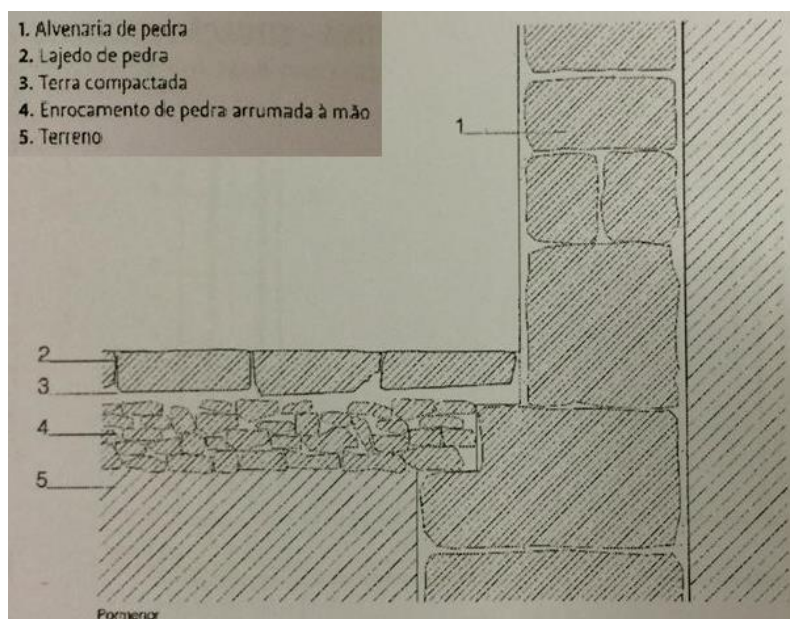


Figura 17- Pormenor construtivo do pavimento térreo / parede exterior [6]

A Figura 14 exprime a evolução das paredes que sustentam pavimentos leves (sem placa), como por exemplo soalho de madeira, e pavimentos pesados (com placa), tais como lajes de betão. Verifica-se que, consoante o aparecimento do betão armado na construção civil, existe um visível crescimento da construção de lajes em betão nos edifícios habitacionais construídos a partir de 1919. Por outro lado, nota-se um decréscimo da construção de pavimentos leves.

## 2.6. Tetos

Até aos finais do século XVIII, os tetos apresentam-se construídos em madeira, utilizando um tabuado diretamente pregado ao vigamento, em forma de forro de esteira. Durante o século XIX são os tetos em estuque que conhecem maior divulgação nas casas de habitação corrente. A invenção de uma técnica, para suporte dos revestimentos e acabamentos em gesso dos tetos, que consiste na conceção de uma estrutura de ripas trapezoidais de pequena dimensão (fasquios) dispostas em forma de grelha, constitui uma das principais evoluções do sistema construtivo ao longo do tempo. Os fasquios, espaçados entre si a espessura de um dedo, eram pregados diretamente sob os paus rolados ou, em muitos casos, a uma estrutura intermédia de barrotes com a dimensão de 5,0 por 7,0 cm, espaçados entre si cerca de 50 cm, permitindo simultaneamente a ventilação. Eram depois aplicadas as camadas de argamassa, a primeira á base de saibro e cal e a segunda à base de

areia fina e cal, regularizando o teto sobre a qual era aplicado o acabamento em estuque, executado com pasta de gesso [6]. Esta técnica de execução dos tetos está ilustrada na figura abaixo (Figura 18).

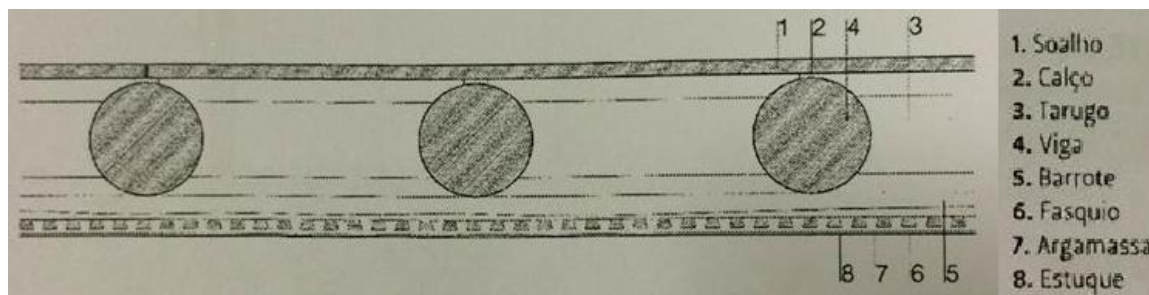


Figura 18- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / teto [6]

## 2.7. Instalações sanitárias

Os edifícios de habitação, até ao final do século XIX e nas primeiras décadas do século XX, apresentavam infra estruturas básicas que dependiam fundamentalmente de imposições regulamentares (Regulamento de salubridade das edificações urbanas e códigos de posturas municipais) e das possibilidades económicas dos proprietários [6]. Estas infraestruturas eram constituídas pela rede de drenagem de águas pluviais, de drenagem de águas residuais, abastecimento de água e de instalações elétricas. As suas instalações eram executadas sem um conhecimento técnico rigoroso, relativamente à opção por um determinado sistema ou ao seu dimensionamento. A necessidade de reparação ou ampliação das diversas redes de infraestruturas era frequentemente realizada com materiais distintos dos existentes, decorrendo daqui algumas anomalias no seu funcionamento.

Os pontos de água das habitações situavam-se quase exclusivamente nas instalações sanitárias e cozinhas [9]. A rede de abastecimento de água era vulgarmente executada em tubos de ferro fundido, de ferro laminado ou de chumbo (figura 19). Nos projetos de reabilitação, as redes de abastecimento, podem ser de material corrente no mercado, devendo a sua seleção atender à facilidade de aplicação e aos fatores de ordem económica.



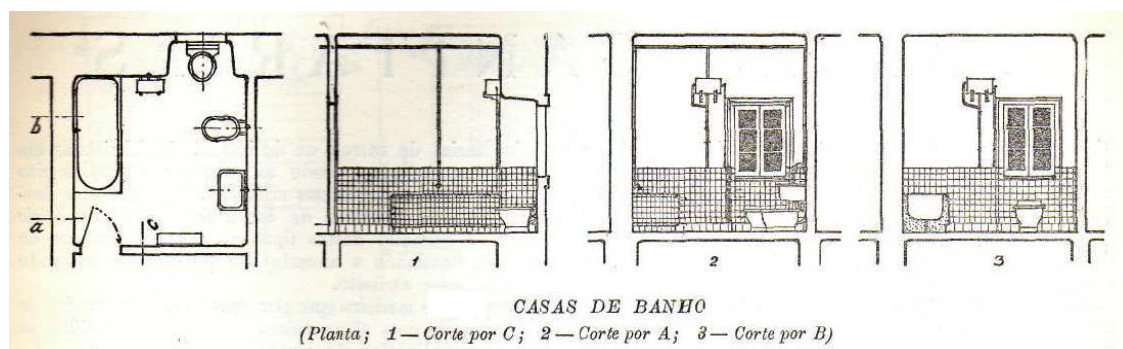


Figura 19-Planta e cortes da rede de distribuição de água numa instalação sanitária antiga [9]

A construção de instalações sanitárias levou à introdução das redes de drenagem de águas residuais, constituídas por tubos de queda, sifões e tubos de ventilação ligados à rede pública de saneamento ou a fossas, localizadas nos logradouros dos lotes. Os sifões e os tubos de queda mais comuns eram de grés cerâmico vidrado ou de ferro fundido [9]. Para a ventilação dos tubos de queda e dos sifões, eram utilizados tubos que, para a sua função podiam ser executados em diversos materiais desde o ferro fundido até ao barro comum.

O RGEU declara, segundo o artigo 100.º, que os tubos devem ser solidamente assentes e facilmente inspecionáveis em toda a sua extensão. Em regra, também refere que, os tubos de descarga não devem ter inclinações inferiores a 2 cm nem superiores a 4 cm por metro [4].

Segundo o artigo 31.º do RGEU [4], as paredes dos quartos de banho devem ser revestidas até, pelo menos, à altura de 1,50 m, com materiais impermeáveis de superfície aparentemente lisa e facilmente lavável (Figura 20).

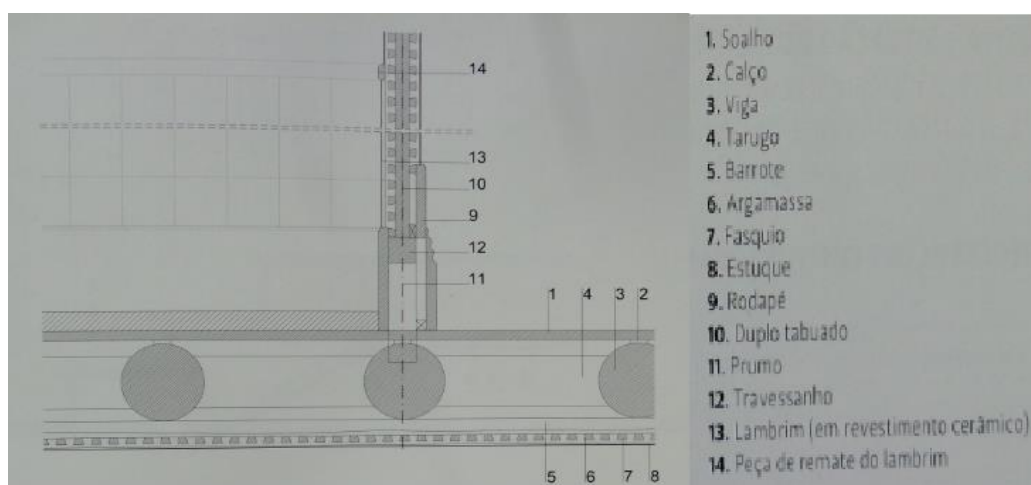


Figura 20- Pormenor construtivo do pavimento de madeira / parede interior em zona húmida [6]

As áreas mínimas das instalações sanitárias impostas pelo RGEU, no artigo 68.º, são proporcionais às áreas e tipos de habitação [4]. O artigo cita:

Quadro 2- Áreas mínimas e características para instalações sanitárias [4]

Tipologia do fogo	T0, T1 e T2	T3 e T4	T5
<b>Áreas mínimas e características para instalações sanitárias</b>	3,5 m <sup>2</sup>	4,5 m <sup>2</sup>  (Subdividida em dois espaços com acesso independente, tendo como equipamento mínimo uma banheira e um lavatório, num dos espaços; uma bacia de retrete, um bidé e um lavatório, no outro espaço)	6 m <sup>2</sup>  (Desdobrada em dois espaços com acesso independente, tendo como equipamento mínimo uma banheira, uma bacia de retrete, um bidé e um lavatório, num dos espaços; e uma bacia de duche, uma bacia de retrete e um lavatório, no outro)

Em 1969, no documento científico “funções e exigências de áreas da habitação”, Nuno Portas ilustra a possível divisão da casa de banho consoante a área prevista para as instalações sanitárias do edifício, Figura 21 [1].

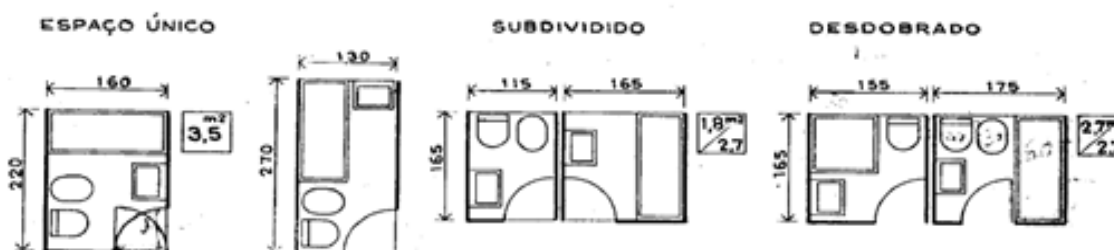


Figura 21- Ilustração de vários espaços sanitários, 1969 [1]

Na reabilitação de edifícios, a renovação das redes de distribuição e de drenagem de águas deve ter em conta as características construtivas específicas do edifício a reabilitar, procurando assegurar uma intervenção pouco intrusiva, com a menor interferência possível no existente. A execução das redes pressupõe que as tubagens sejam embebidas nos

elementos construtivos. O embebedimento das instalações e atravessamento nos elementos construtivos deve ser evitado ao máximo, recorrendo, por exemplo, a pisos técnicos, tetos falsos (Figura 22), calhas técnicas (p.e. rodapés), ductos ou por soluções de tubagens à vista sempre que não prejudique a envolvente arquitetónica [6]. No caso dos sub-tetos, poderão utilizar-se os dos pisos inferiores se os mesmos fizerem parte integrante da propriedade do piso que a instalação pretende servir.

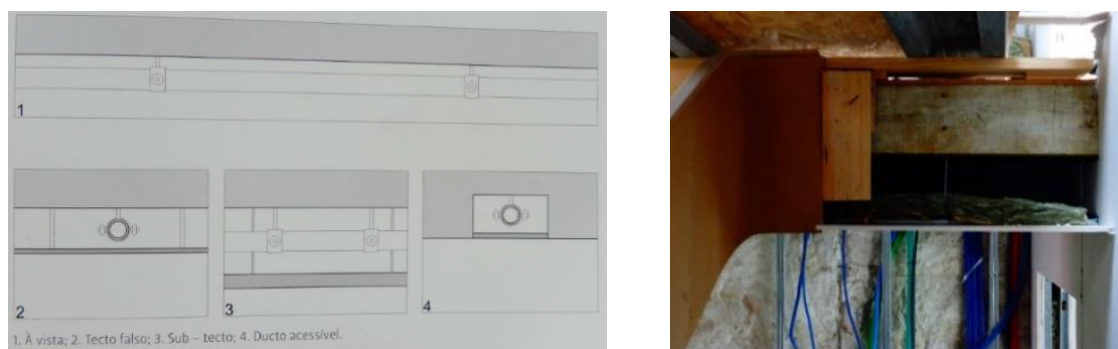


Figura 22- Soluções de instalação hidráulica (à esquerda) [6] e passagem da rede hidráulica e elétrica por teto falso (à direita)

A Figura 23 representa, de forma gráfica, a percentagem de habitações com ausência de componentes sanitárias em edifícios construídos antes de 1919 a 2011. A mesma figura compara os resultados para os vários edifícios presentes em 2001 e em 2011. Em 2001, 31,9% dos alojamentos ocupados em edifícios anteriores a 1919 apresentavam carência de pelo menos uma infraestrutura básica, verificando-se uma posterior diminuição dessa taxa à medida que aumentava a época de construção dos edifícios [2]. Contudo, a proporção de alojamentos em edifícios anteriores a 1961 que apresentavam falta de condições sanitárias era ainda significativa. No entanto, em 2011, a realização de obras de reabilitação bem como o baixo número de alojamentos no edificado antigo, verificou-se que apenas 10,3% dos alojamentos situados em edifícios anteriores a 1919 e 6,4 % dos alojamentos anteriores a 1961 continuavam a estar carenciados de pelo menos uma infraestrutura básica.

Na Figura 23, considerando a época de construção dos edifícios, é possível verificar que a evolução das reduções percentuais é idêntica, independentemente das componentes sanitárias consideradas ou da época de construção do edifício.

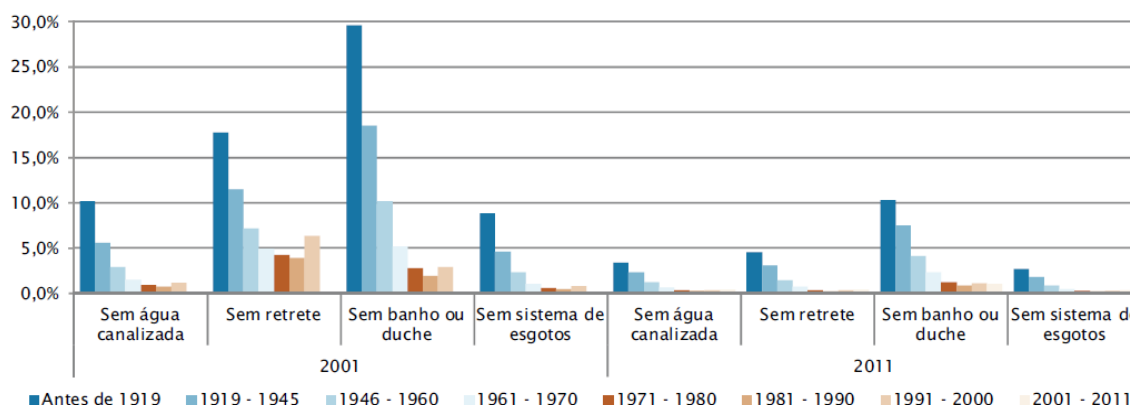


Figura 23- Proporção de alojamentos familiares, ocupados como residência habitual segundo o tipo de carência de infraestrutura básica, por época de construção do edifício [2]

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA CASA MODELO (CASA SANTO ANTÓNIO)

#### 3.1. Introdução

O presente capítulo tem como propósito a caracterização da zona envolvente que interfira direta ou indiretamente na instalação do WC pré-fabricado, na casa de Santo António – Sede da InovaDomus (Ílhavo) datada de 1935, Figura 24. A caracterização da zona onde será instalado o módulo sanitário consiste na descrição dos processos construtivos adotados bem como na descrição pormenorizada de todos os elementos estruturais existentes, desde as suas dimensões, materiais, à forma como ocorre a transmissão de cargas entre os mesmos.

O presente capítulo encontra-se dividido em cinco partes, sendo que nas duas primeiras partes são apresentadas as peças de arquitetura, seguidas dos vários mapas – compartimentos e paredes – de forma a identificar a numeração adotada para identificação de todos estes elementos. A terceira parte consiste na interpretação do sistema estrutural e hidráulico, sendo que se encontra dividido em subpartes que, de forma pormenorizada, descrevem os elementos construtivos situados na zona envolvente onde será instalado o WC pré-fabricado: paredes e pavimento. A quarta parte é referente à rede hidráulica

presente no edifício e a quinta parte é relativa à localização do módulo sanitário na casa Santo António.



Figura 24- Casa Santo António – Sede da InovaDomus (Ílhavo)

### 3.2. Plantas e alçados

Este capítulo apresenta as peças de arquitetura relativas à casa Santo António, correspondendo ao levantamento atual da casa (antes de qualquer tipo de intervenções) [10]. Prevê-se que o sanitário pré-fabricado seja instalado no piso 2, na zona demarcada em tons de cinza claro na Figura 27. A área em tons de cinza claro na Figura 26, apresenta a zona do piso inferior onde se localizará o WC em estudo. Para que a leitura destes desenhos seja simplificada, todos os desenhos relativos ao corte horizontal (planta) sofreram uma rotação, sendo que a orientação aplicada a todos os desenhos é também apresentada de seguida.

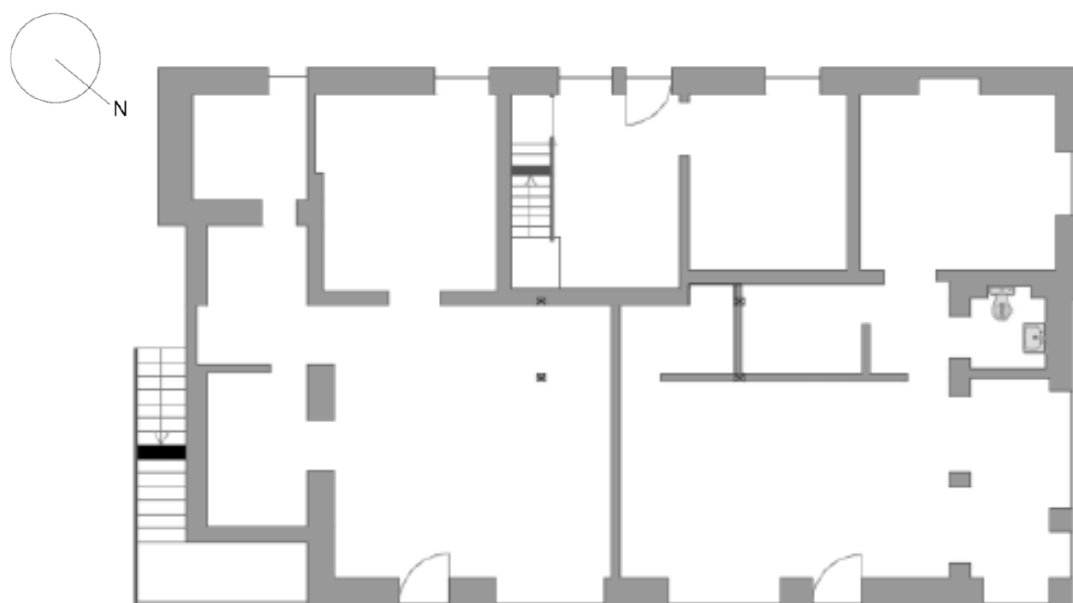


Figura 25- Planta do piso térreo [10]



Figura 26- Planta do piso 1 [10]

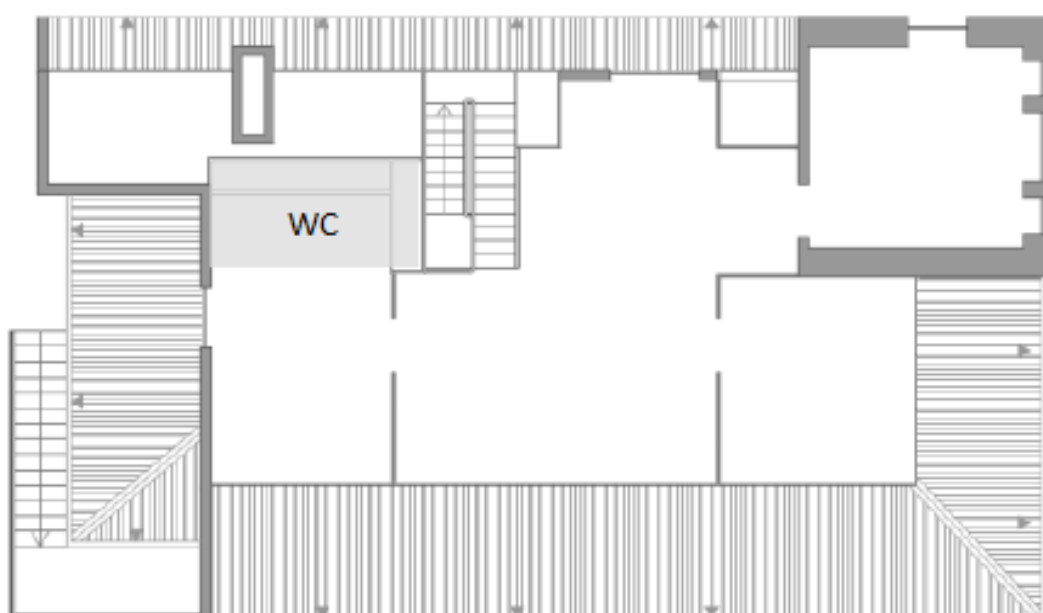


Figura 27- Planta do piso 2 [10]



Figura 28- Alçado principal [10]



Figura 29- Alçado lateral esquerdo [10]



Figura 30- Alçado lateral direito [10]



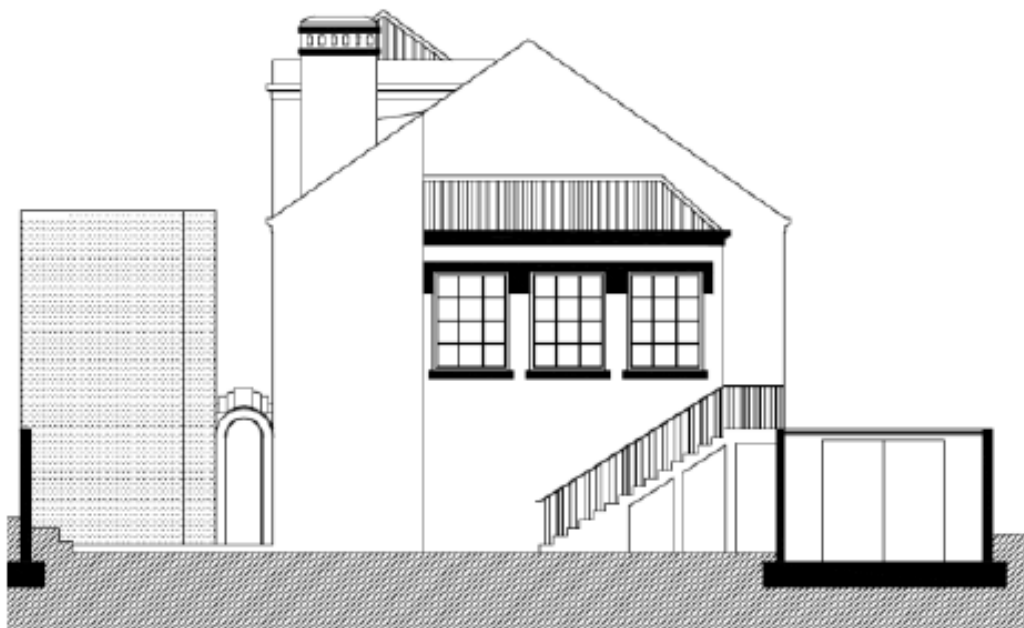


Figura 31- Alçado posterior [10]

### 3.3. Mapas

#### 3.3.1. Mapas de compartimentos

Neste subcapítulo será apresentada a numeração dos diferentes compartimentos que constituem a Casa Santo António de modo a simplificar a localização dos mesmos.

A nomenclatura do compartimento foi simplificada, sendo identificada pela letra “C”, com dois índices associados:

- $C_{i,j}$ , em que o “i” corresponde ao número do compartimento (vai de 1 a 12) e “j” ao número de piso (1 e 2).

A numeração foi feita no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, tendo iniciado no canto superior direito da planta.

As Figuras 32 e 33 apresentam os mapas dos compartimentos dos pisos 1 e 2, pisos associados à instalação do WC pré-fabricado.

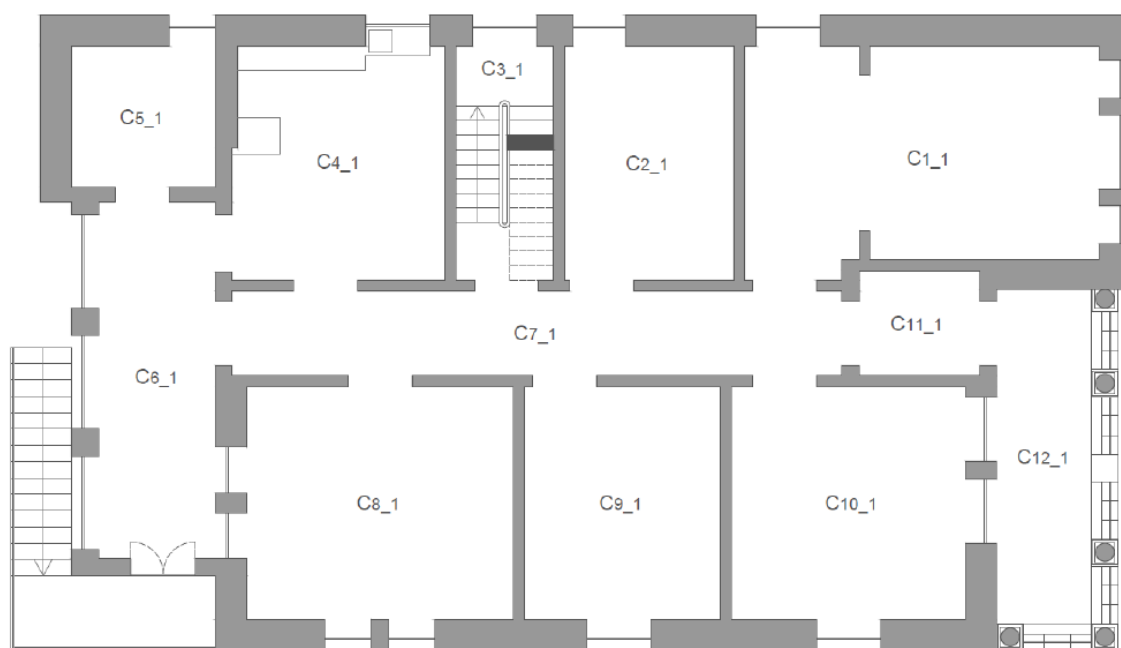


Figura 32- Compartimentação do piso 1

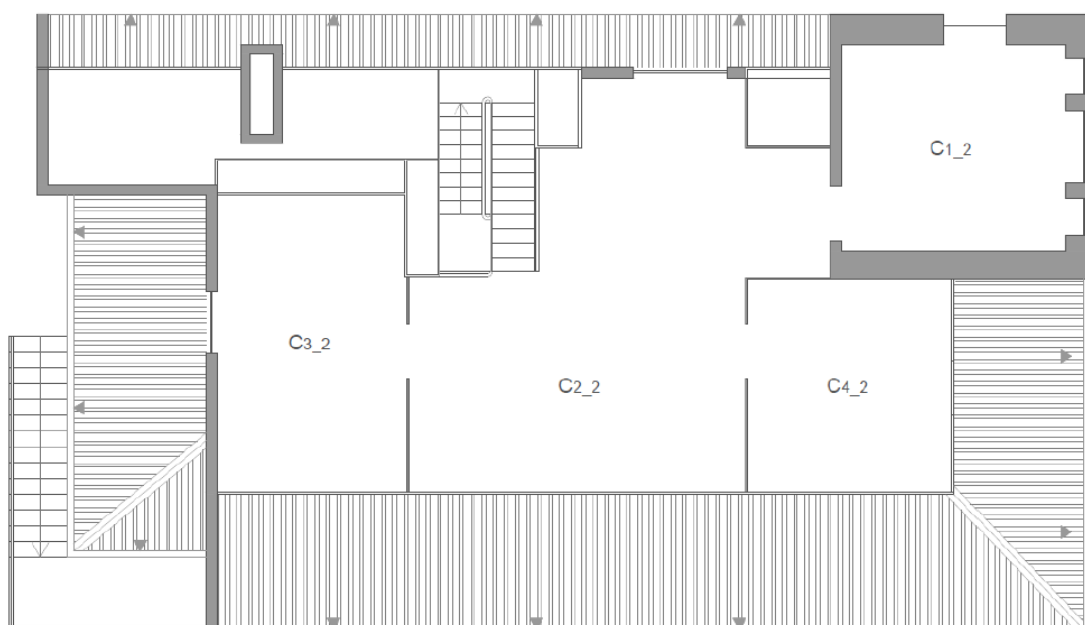


Figura 33- Compartimentação do piso 2

### 3.3.2. Mapas de paredes

Neste subcapítulo representa-se as diversas paredes que constituem a Casa Santo António.

Designou-se:

- $PF_{i,j}$ ;
- $PD_{i,j}$ .

A designação PF corresponde às paredes exteriores (de fachada) enquanto PD serve de designação às paredes divisórias (interiores).

Tal como nos dois mapas anteriores, são atribuídos dois índices: “i” e “j”, sendo que “i” corresponde ao número da parede e “j” ao número do piso.

A ordenação é feita no sentido contrário aos ponteiros do relógio, tendo sido iniciado no canto superior direito, à semelhança dos mapas de compartimentos. As Figuras 34 e 35 apresentam os mapas de paredes dos pisos 1 e 2, respetivamente:

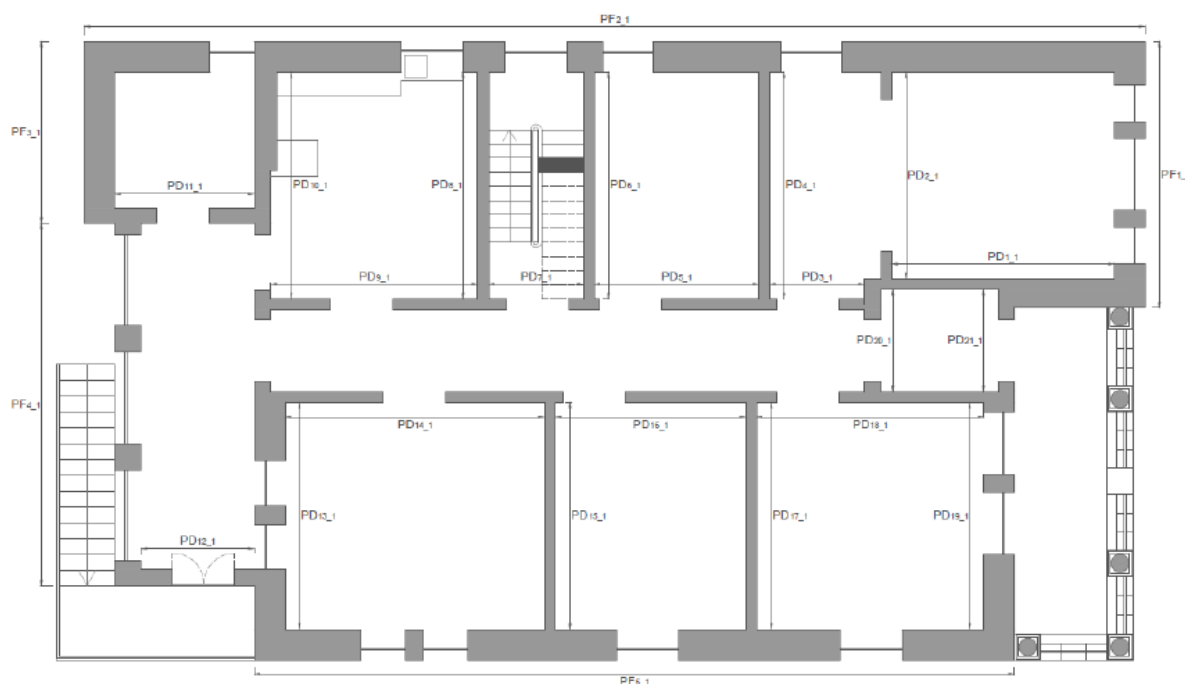


Figura 34- Mapa de paredes do piso 1

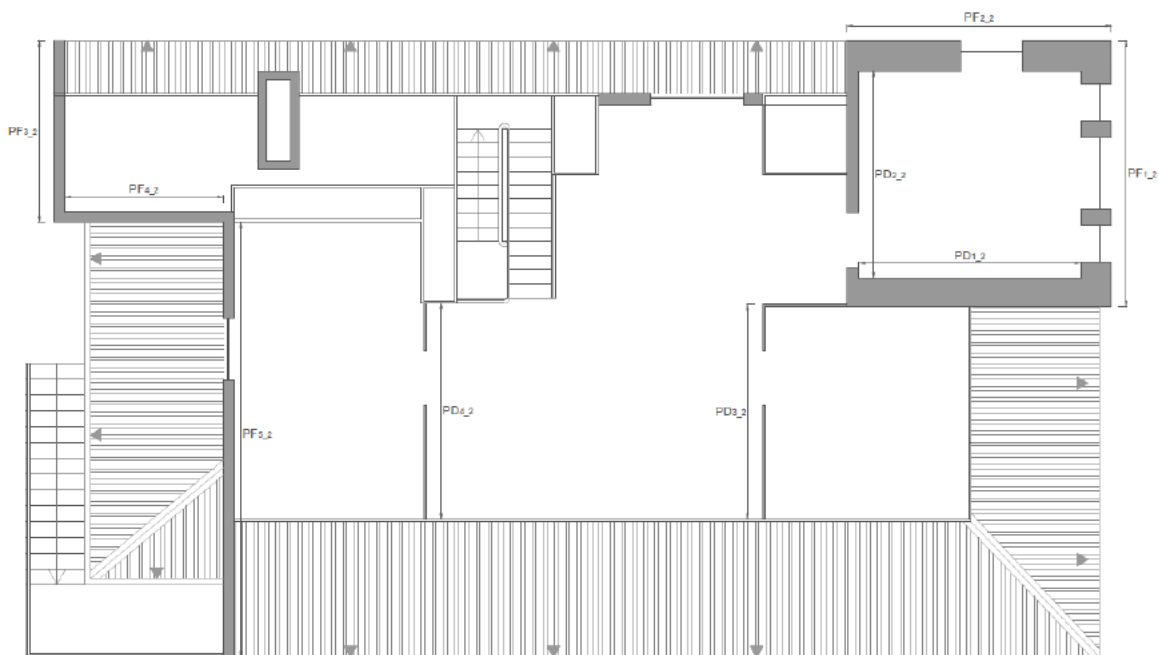


Figura 35- Mapa de paredes do piso 2

### 3.4. Interpretação do sistema estrutural e respetivos materiais

A caracterização estrutural consiste na descrição dos processos construtivos adotados, bem como na descrição pormenorizada de todos os elementos estruturais existentes, desde as suas dimensões, materiais, à forma como ocorre a transmissão de cargas entre os mesmos.

A caracterização e o comportamento estrutural de um edifício deve ser descrito de forma pormenorizada antes de qualquer intervenção ao mesmo. Assim, o presente capítulo será dividido por subcapítulos de cada parte estrutural que interfira direta ou indiretamente na instalação do WC modular. Serão descritos apenas as paredes e os pavimentos uma vez que os outros elementos construtivos, por exemplo as fundações, são desprezáveis na instalação do módulo sanitário.

#### 3.4.1. Paredes

Neste subcapítulo é apresentado o processo construtivo das paredes do edificado, dando maior importância às paredes que sustentam a zona que abrange a futura instalação do WC pré-fabricado. As paredes edificadas, tanto as exteriores como as interiores, apresentam tijolo vazado como material original, sendo que o mesmo foi comprovado através da realização de uma prospeção geofísica recorrendo a ensaios de Radar efetuados em dezembro de 2012 por uma entidade competente.

Com a realização destes ensaios é possível obter bastante informação acerca de algumas paredes do edificado tais como o material constituinte, eventuais anomalias existentes e eventuais paredes removidas. De seguida serão apresentados três tópicos, sendo que cada um deles trata uma questão específica das paredes constituintes da zona em estudo: material constituinte, espessura e descrição estrutural.

Em relação ao piso térreo, não será dada ênfase à constituição dos elementos estruturais uma vez que esta zona em nada interfere na instalação do módulo pré-fabricado.

#### ***3.4.1.1. Material constituinte***

O principal material original constituinte das paredes é um tipo de tijolo vazado. O mesmo apresenta dimensões de cerca de 300 x 80 mm, variando a profundidade mediante a aplicação do mesmo.

Importa referir que as informações abordadas foram obtidas através de ensaios anteriormente realizados por entidades competentes – prospeções com georradar, inspeções visuais, sobreposição de plantas dos pisos bem como videoscópio. Estes ensaios permitiram verificar que o material original se encontra aplicado em todas as paredes exteriores e na maioria das paredes interiores.

Numa análise das paredes estruturais e divisórias, identificam-se pelo menos 5 materiais distintos:

- Tijolo vazado – alvenaria original;
- Tijolo regular (30x20) – alvenaria recente;
- Gesso cartonado;
- Betão armado – pilares;
- Contraplacado de madeira.

Com o auxílio das plantas é possível estabelecer uma distinção, ao nível das paredes interiores, entre o que é original e o que foi criado posteriormente.

Importa referir que, serão apenas analisados os elementos presentes na envolvente do local a instalar o WC.

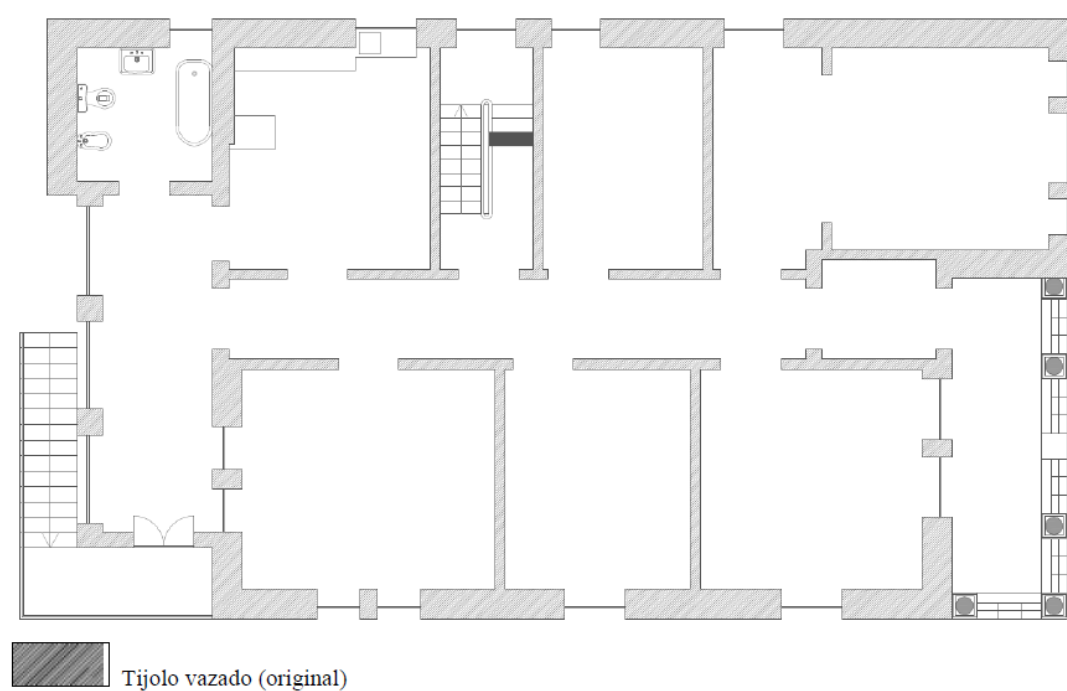


Figura 36- Mapa de materiais do piso 1

Relativamente à Figura 36, que apresenta as paredes do piso 1, verifica-se que as mesmas se encontram construídas em tijolo vazado.

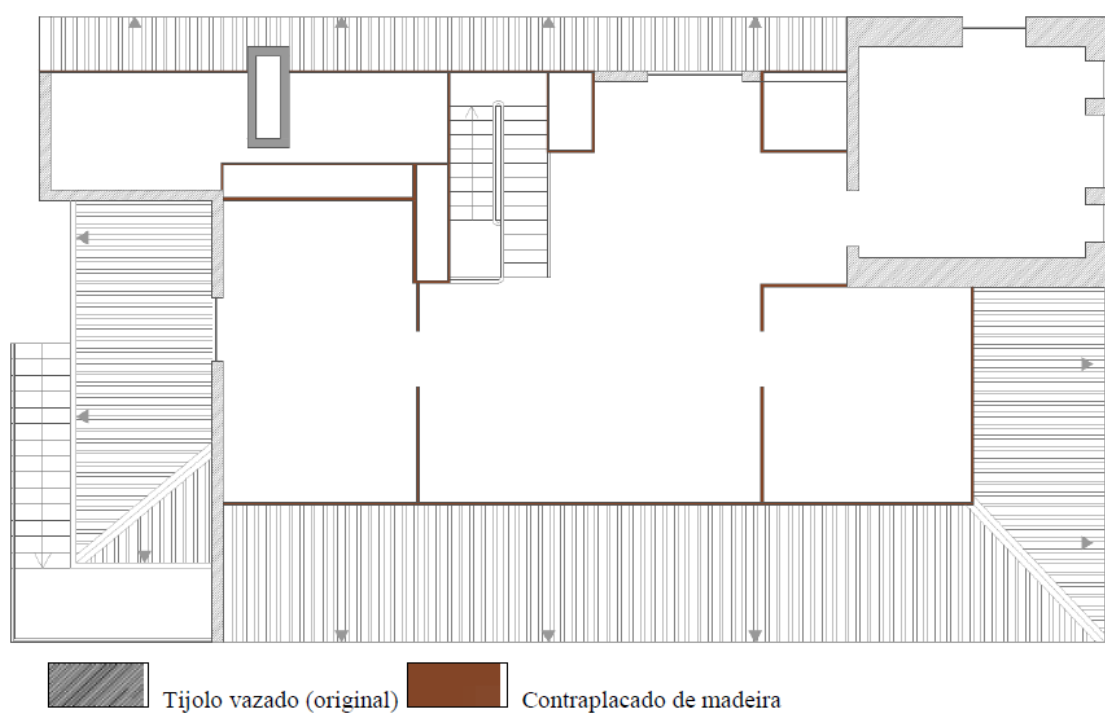


Figura 37- Mapa de materiais do piso 2

O piso 2, local de estudo (Figura 37), trata-se de um sótão. As paredes deste piso apresentam divisórias construídas em aglomerado de madeira; exceto na zona do torreão, por se tratar de uma área de paredes originais, estas são compostas por tijolo vazado.

#### 3.4.1.2. Espessura

As espessuras precisas das paredes do edificado surgem após uma análise cuidada e com auxílio do varrimento laser anteriormente realizado por uma entidade competente. Pelos motivos referidos anteriormente, são apresentados nos Quadros 1 e 2, as espessuras das paredes envolventes à área da zona em estudo bem como o material constituinte das mesmas.

Quadro 3- Características das paredes do piso 1

Piso	Parede	Material	Espessura (cm)
<b>1</b>	PD <sub>8_1</sub>	Tijolo vazado	14,0
	PD <sub>9_1</sub>	Tijolo vazado	14,0
	PD <sub>10_1</sub>	Tijolo vazado	52,0
	PD <sub>11_1</sub>	Tijolo vazado	38,0
	PD <sub>12_1</sub>	Tijolo vazado	35,0
	PD <sub>13_1</sub>	Tijolo vazado	52,0
	PD <sub>14_1</sub>	Tijolo vazado	14,0

Quadro 4- Características das paredes do piso 2

Piso	Parede	Material	Espessura (cm)
2	PF <sub>3_2</sub>	Tijolo vazado	35,0
	PF <sub>4_2</sub>	Tijolo vazado	35,0
	PF <sub>5_2</sub>	Tijolo vazado	35,0
	PD <sub>3_2</sub>	Aglomerado de madeira <sup>1</sup>	5,0
	PD <sub>4_2</sub>	Aglomerado de madeira <sup>1</sup>	5,0
	PD <sub>13_1</sub>	Tijolo vazado	52,0
	PD <sub>14_1</sub>	Tijolo vazado	14,0

<sup>1</sup>. Tratam-se de paredes puramente divisórias, sem qualquer função estrutural.

#### 3.4.1.3. Descrição estrutural

As alvenarias num edifício apresentam um elevado peso por metro linear, aliado ao facto do edificado ter sofrido alterações, bem como por se tratar de uma estrutura antiga com pavimento em madeira, torna-se deveras importante a análise do modo como as mesmas se encontram dispostas.

Desta forma, as Figuras 38 e 39 apresentam uma sobreposição das plantas (piso térreo / piso 1 e piso 1 / piso 2), com vista a facilitar a perceção da forma como são resolvidas as transmissões de cargas, bem como a identificação de um potencial problema de concentração das mesmas, resultante da supressão de um elemento estrutural.





Figura 38- Planta com sobreposição das paredes do piso 1. Piso térreo.



Figura 39- Planta com sobreposição das paredes interiores do piso 2. Piso 1

Segundo a Figura 38, é possível concluir que ao nível das paredes paralelas à fachada principal, a transmissão de cargas ocorre sem problemas, já que as paredes do piso 1 descarregam diretamente nas paredes do piso térreo. Já as paredes perpendiculares à fachada principal, ou seja, as paredes que constituem o corredor central do piso 1, descarregam sobre os elementos estruturais em betão armado existentes no piso térreo – vigas e pilares.

Por sua vez, tal como é possível verificar na Figura 39, não existem problemas na transmissão de cargas do piso 2 para o piso 1.

No entanto, os pontos A e B, identificados na Figura 38, requerem maior cuidado em termos de monitorização, visto que se apresentam como locais onde a carga resultante do peso próprio da parede não é transferida diretamente para as paredes do piso térreo. Isto deve-se às alterações que ocorreram – remoção de paredes e consequente introdução de reforços estruturais no sentido de colmatar essa lacuna.

### **3.4.2. Pavimento**

Este capítulo refere-se aos pavimentos elevados (pisos 1 e 2) que estão associados à instalação do módulo sanitário.

#### **3.4.2.1. *Material constituinte***

Dentro do grupo dos pavimentos elevados (pisos 1 e 2), estabeleceu-se uma divisão, com base no material estrutural que o compõe:

- Estrutura em madeira;
- Estrutura em betão armado.

Este último existe nos compartimentos ilustrados em tons cinza, enquanto a estrutura em madeira compõe o restante pavimento, tal como apresentado nas Figuras 40 e 41.

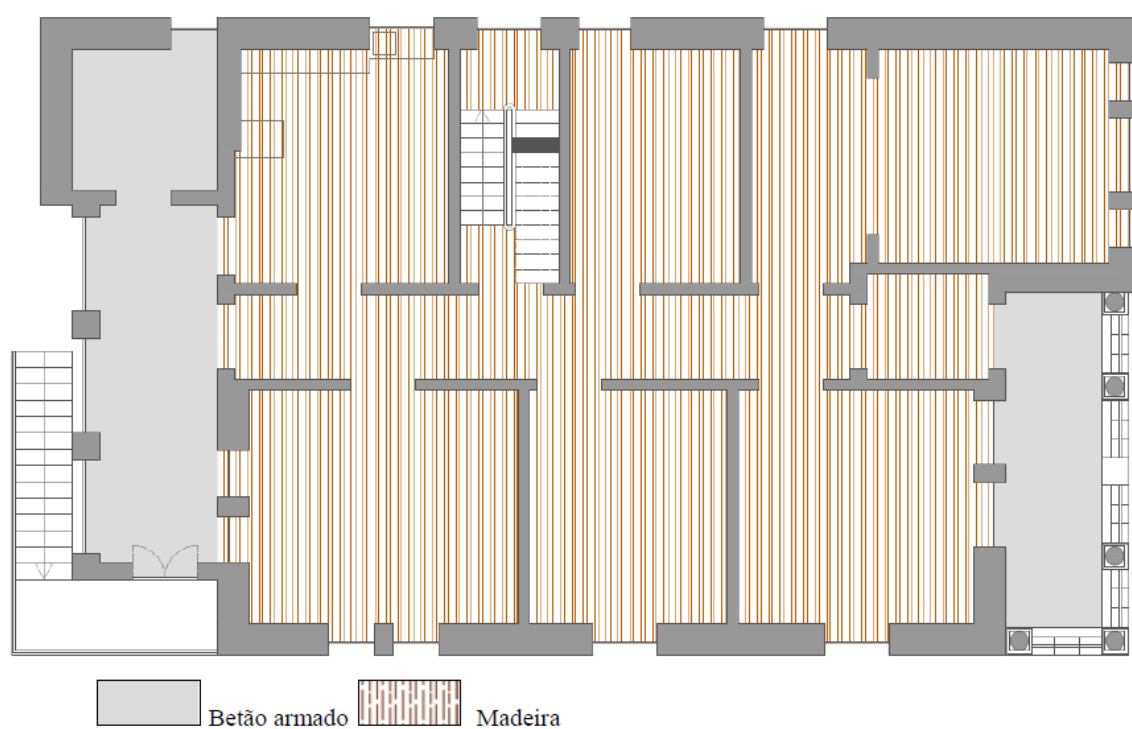


Figura 40- Representação da estrutura do pavimento. Piso 1



Figura 41- Representação da estrutura do pavimento. Piso 2

### ***3.4.2.2. Descrição estrutural – pavimentos elevados***

Presume-se que os pisos realizados em betão armado foram construídos aquando a construção do edifício, uma vez que não existe razão aparente para terem sido adotados processos construtivos diferentes do utilizado no restante edifício.

No que diz respeito aos restantes pavimentos, a madeira apresenta-se como o principal (e único) material na sua execução, cujo esquema estrutural utilizado consiste na conceção de um sistema de vigamento. Desta forma, por este se apresentar como elemento de maior preponderância, os pontos a seguir apresentados dizem apenas respeito aos pavimentos em madeira.

### ***3.4.2.3. Vigas***

As vigas apresentam-se como o principal elemento estrutural na conceção dos pavimentos, estando dispostas paralelamente entre si e separadas por uma distância de cerca de 0,50 m.

Com uma secção transversal média de 100 x 200 mm<sup>2</sup>, estas recebem as cargas provenientes do pavimento – soalho de madeira – e transferem-nas posteriormente para as paredes resistentes de alvenaria, nas quais se encontram apoiadas.

Relativamente à entrega das vigas de pavimento na parede de fachada, é possível verificar que estas se encontram apoiadas na parede através de descontinuidades criadas na própria alvenaria, como é visível na Figura 42. Face ao constatado na entrega das vigas de cobertura e, tendo em conta que a espessura das paredes exteriores não se altera ao longo da sua altura, acredita-se que as vigas de pavimento do piso 1 terão aproximadamente 25 cm de entrega nas paredes exteriores, sendo mais fiável a realização de um ensaio que permita compreender melhor a forma como a entrega é feita, bem como determinar o comprimento da mesma.



Figura 42- Entrega de uma viga de piso na parede de fachada.

Como se pode verificar através da Figura 43, as vigas de cobertura encontram-se apoiadas na parede de forma semelhante às vigas de pavimento (descontinuidades criadas na alvenaria). O comprimento de entrega das vigas na parede de fachada é cerca de 25 cm, sendo que a única alteração verificada, comparativamente com as vigas de pavimento do piso intermédio, deve-se a um entalhe criado nas mesmas com vista à colocação do frechal.



Figura 43- Entrega de uma viga na parede de fachada.

Nas Figuras 44 e 45 são apresentados os esquemas estruturais dos pisos 1 e 2, respectivamente.

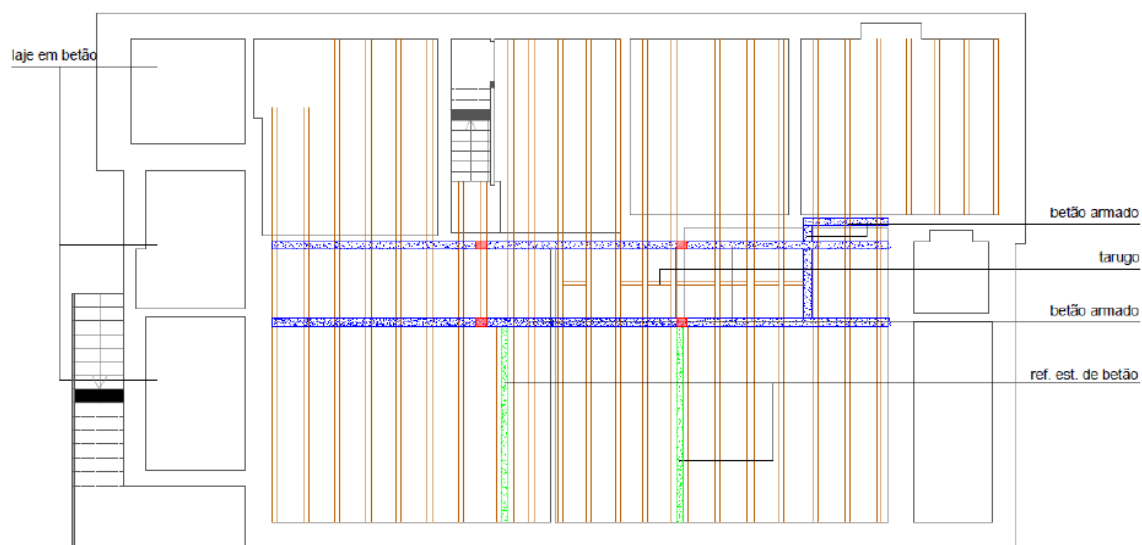


Figura 44- Esquema estrutural da laje do piso 1.

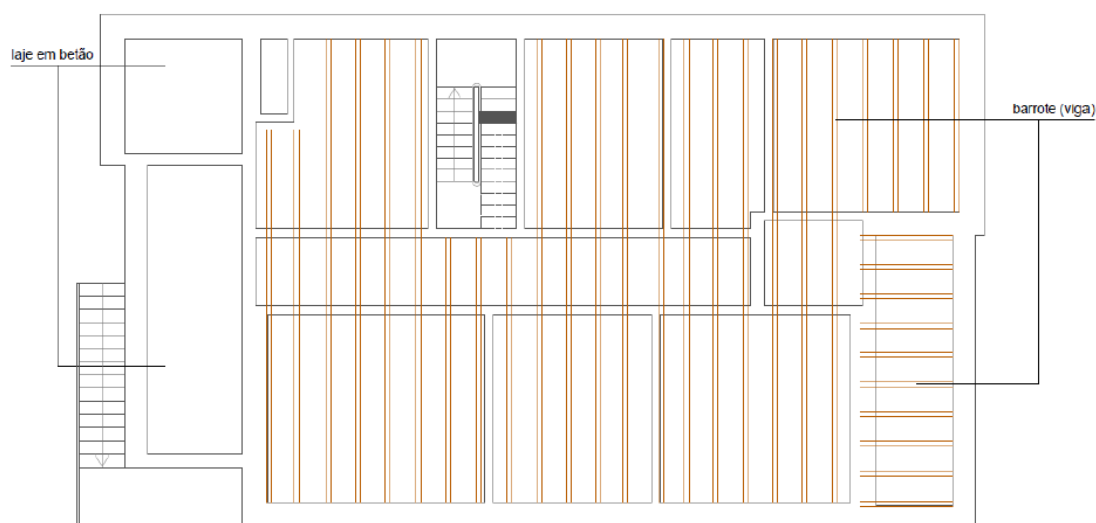


Figura 45- Esquema estrutural da laje do piso 2

#### **3.4.2.4. Elementos de betão armado**

Na Figura 44 é visível a existência de elementos em betão armado (pilares e vigas), representados a azul e vermelho, ilustrados na Figura 46. Os elementos a verde consistem em reforços colocados sob paredes divisórias do piso intermédio e, como tal, os mesmos terão sido colocados numa fase posterior à da construção, substituindo eventuais paredes divisórias removidas ao nível do piso térreo.

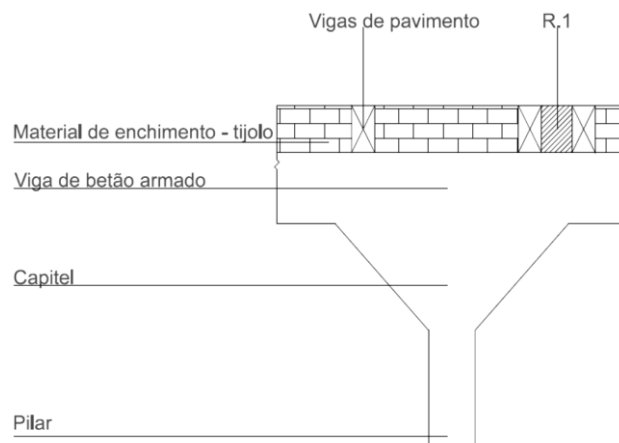


Figura 46- Corte representativo da ligação entre viga e pilar ilustrado a vermelho na Figura 44

Os pilares apresentam secções transversais de  $150 \times 200 \text{ mm}^2$  enquanto as vigas apresentam secções de  $150 \times 300 \text{ mm}^2$ , ilustrados nas Figuras 47 e 48, respetivamente.

Como é possível constatar através do corte (Figura 46), a ligação entre o pilar e a viga é estabelecida por meio de um capitel, com uma inclinação de cerca de  $50^\circ$ .

Relativamente às vigas de pavimento que sobrepõem estes elementos, estas encontram-se apoiadas na viga de betão armado, que por sua vez descarrega as cargas para os pilares que posteriormente transmitem as mesmas para a fundação.

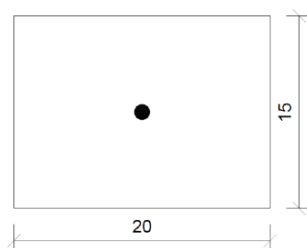


Figura 47- Corte transversal de um pilar ilustrado a vermelho na Figura 44

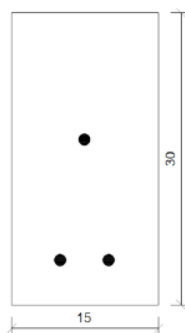


Figura 48- Corte transversal de uma viga estrutural ilustrado a azul na Figura 44

O diâmetro dos varões de aço é de 12 mm, valor esse que resulta das aquisições feitas com georradar por entidades competentes.

#### **3.4.2.5. Tarugos**

Perpendicularmente, verifica-se a existência de tarugos com 60 mm de base numa zona do pavimento do piso 1, tendo como função redistribuir as tensões e assim reduzir a deformação das vigas de pavimento nessa zona.

#### **3.4.2.6. Soalho**

O soalho em madeira, aplicado sobre as vigas, com tábuas na ordem dos 100 x 25 mm<sup>2</sup> e comprimento na ordem dos 2,4 m, Figura 49. Estas apresentam-se dispostas perpendicularmente às vigas e encontram-se em todos os compartimentos dos pisos 1 e 2.



Figura 49- Vista geral do soalho

### **3.5. Rede hidráulica sanitária existente**

O piso 1 possui uma instalação sanitária composta por banheira, lavatório, bidé e bacia de retrete. As informações da rede hidráulica referentes aos equipamentos sanitários presentes no quarto de banho são restritas, dado estas se encontrarem no interior das paredes. Contudo, na Figura 50 é possível observar que já foram efetuados roços na parede de alvenaria (zona posterior do edifício) que, possivelmente, estão associados a alterações na



rede hidráulica. Segundo as informações obtidas, sabe-se que já foram efetuadas alterações nestas mesmas instalações sanitárias. O quarto de banho do piso intermédio situa-se na zona onde esses rasgos foram efetuados e, segundo o traçado dos roços e a disposição dos equipamentos sanitários do WC, tudo indica que se trata da rede de drenagem de águas residuais. No piso 2, na área superior à envolvente do quarto de banho do piso 1, encontram-se vestígios da existência de um reservatório de água que, supostamente, serviria graviticamente o quarto de banho e a cozinha presentes no piso 1. Estes reservatórios localizados na cobertura eram comuns nos edifícios da mesma época da casa Santo António.



Figura 50- Registo fotográfico de possíveis alterações da rede hidráulica

### 3.6. Localização do módulo sanitário na Casa Santo António

Neste subcapítulo é abordada a futura localização do módulo sanitário. A Figura 51 apresenta a planta do piso 2 com a respetiva localização, demarcada a cinza claro, da zona de instalação do WC pré-fabricado.

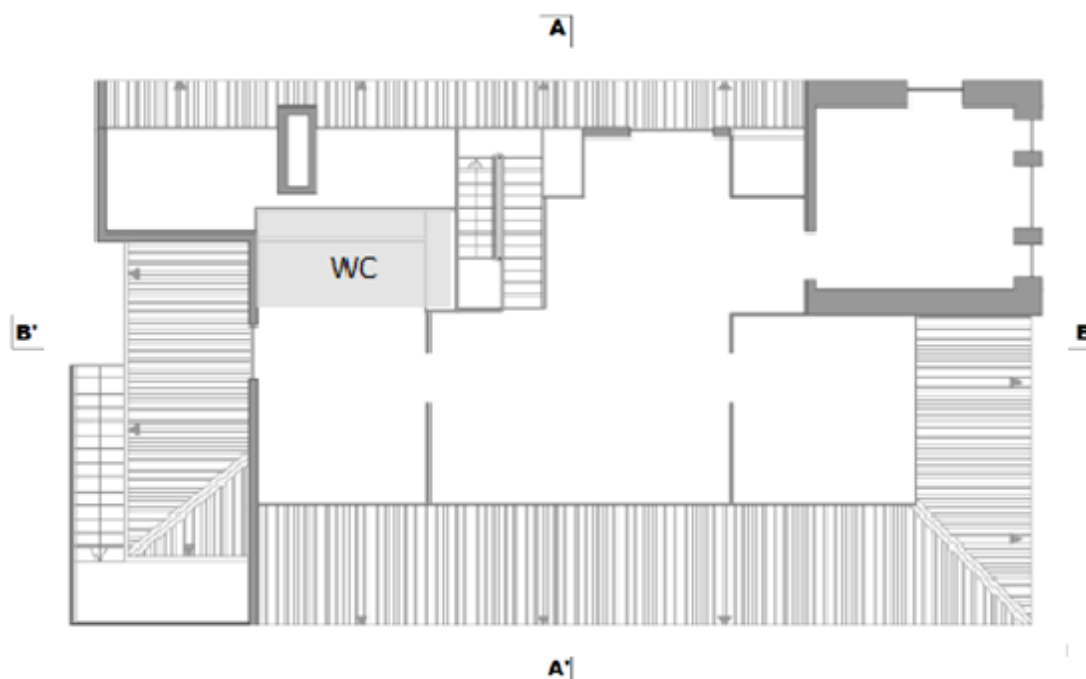


Figura 51- Planta do piso 2 com a área delimitada para a instalação do módulo sanitário

Nas Figuras 52 e 53 encontram-se representados os cortes identificados na Figura 51, de modo a melhorar a percepção da área reservada à instalação do módulo sanitário. A Figura 54 indica a zona da futura instalação do WC modular no mesmo posicionamento do corte BB' ilustrado na Figura 53.

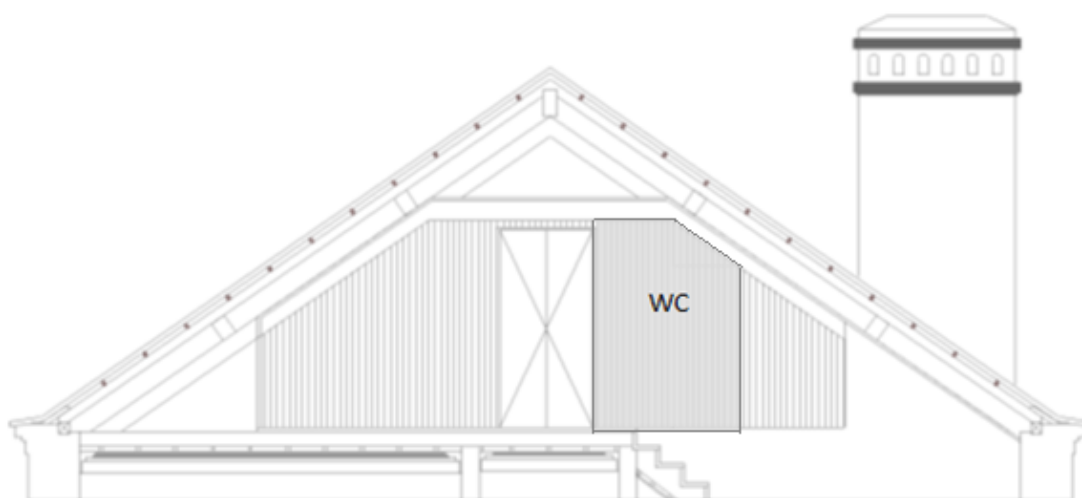


Figura 52- Corte AA' identificado na Figura 51



Figura 53- Corte BB' identificado na Figura 51



Figura 54- Local da futura instalação do sanitário pré-fabricado consoante o posicionamento expresso na Figura 53

A Figura 55, plantas do piso 1 e 2 sobrepostas, clarifica a futura localização do módulo sanitário (piso 2) comparativamente com as instalações sanitárias do piso 1. Por sua vez, o local do wc pré-fabricado coincide com a zona da cozinha no piso 1. Ou seja, o módulo sanitário encontra-se na envolvente das redes hidráulicas presentes na Casa Santo António.



Figura 55- Planta do piso 1 com sobreposição das paredes interiores do piso 2 e com a localização da futura instalação do sanitário modular (demarcado em tons de cinza claro)

A Figura 56 representa o esquema estrutural da laje do piso 2 e a localização da futura instalação do módulo sanitário. Esta planta estrutural é importante no que toca ao traçado das redes hidráulicas que servem o módulo, uma vez que estas não devem interferir no comportamento dos elementos estruturais.

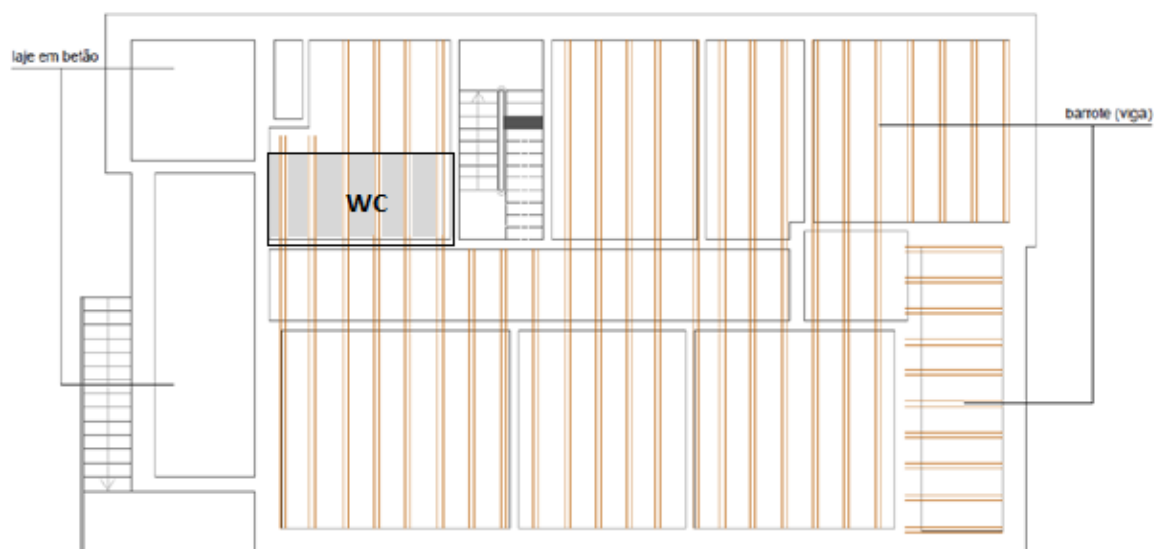


Figura 56- Esquema estrutural da laje do piso 2 com a localização da futura instalação do sanitário modular (demarcado em tons de cinza claro)

## 4. SOLUÇÕES DE WC EXISTENTES

### 4.1. WC tradicional

As instalações sanitárias são projetadas de forma a cumprir o conforto de utilização, em que os diversos elementos estejam ordenados de uma forma racional, com uma iluminação e ventilação equilibradas. A qualidade de utilização, princípio base na projeção de um WC, deve ter em conta vários fatores tais como a área, orientação e disposição dos equipamentos sanitários, iluminação, rede elétrica e aquecimento, ventilação do espaço sanitário, equipamentos sanitários, torneiras e acessórios e o acabamento de paredes, pavimentos e tetos [11]. O número de instalações sanitárias numa habitação é quantitativamente proporcional ao número de compartimentos, tendo como mínima uma instalação com espaço de banho, lavatório e sanita. No caso de fogos com mais compartimentos habitáveis, as instalações sanitárias são constituídas por casas de banho independentes, sendo normalmente pelo menos uma completa e a outra apenas com sanita e um lavatório, Figura 57.

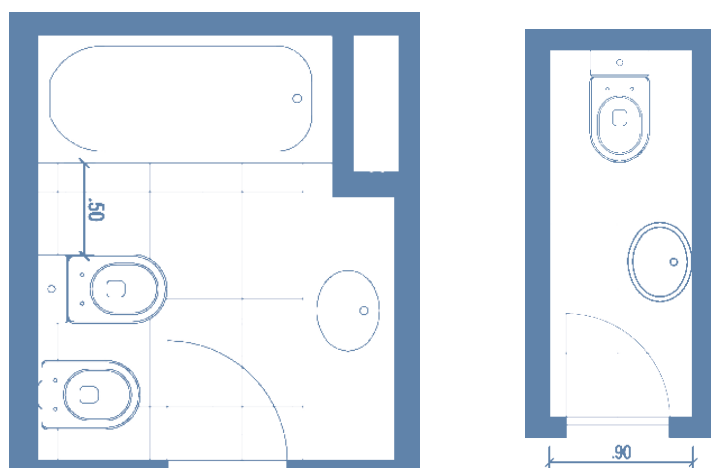


Figura 57- Disposição corrente dos instrumentos sanitários num WC tradicional [11]

De acordo com o RGEU [4], as áreas mínimas impostas para as instalações sanitárias nas habitações são as seguintes:

- T0, T1 e T2: 3,5 m<sup>2</sup>
- T3 e T4: 4,5 m<sup>2</sup>
- T5 e T6: 6,0 m<sup>2</sup>

Na fase de projeto, sendo possível, costuma-se orientar as instalações sanitárias no quadrante norte, de modo a deixar os outros quadrantes para os compartimentos que necessitem maior incidência solar, e localizar a porta de acesso da casa de banho de modo a não ser visível na entrada e saída da habitação.

Quanto à disposição dos instrumentos sanitários, o lavatório costuma estar localizado junto à janela, que deverá ter uma área superior a  $0,54 \text{ m}^2$ , para receber uma boa iluminação [4]. Na maior parte dos casos, a localização da janela determina a distribuição dos aparelhos sanitários. De modo a garantir o conforto mínimo, nas banheiras e nas bases de duche impõe-se uma distância mínima de 50 cm na sua envolvente sem quaisquer obstáculos. Nos restantes equipamentos essa distancia ronda os 40 e 50 cm [11]. Na presença de bidé, este situa-se próximo da sanita, a uma distância suficiente para permitir uma cómoda utilização. As redes hidráulicas que abastecem e drenam a água dos equipamentos sanitários podem ser traçadas pelas paredes ou pavimento da compartição. A sifonagem pode ser feita individualmente por cada instrumento sanitário ou de forma coletiva utilizando uma caixa sifonada de pavimento, Figura 58.

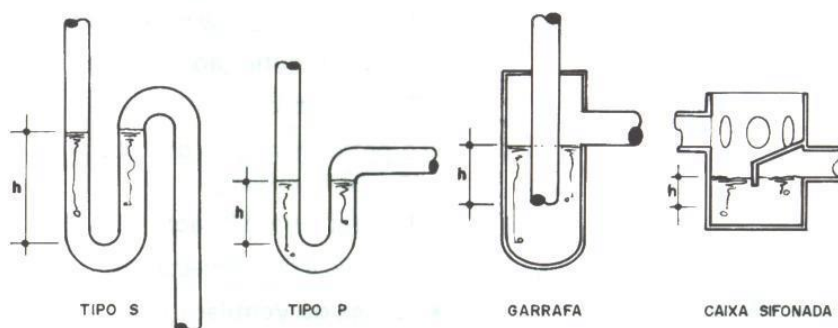


Figura 58- Tipologias dos sifões [12]

Nas instalações sanitárias completas, a distância entre paredes opostas é de, pelo menos, 1,30 m e nas instalações que possuem apenas sanita e lavatório a distância entre paredes não deve ser inferior a 80 cm [11].

As instalações sanitárias devem possuir iluminação e renovação de ar permanente. A extração de ar viciado das instalações sanitárias pode ser efetuada através de ventilação natural, mecânica ou mista. O quarto de banho é, por norma, o compartimento onde o desconforto é mais notado, devido principalmente ao tipo de revestimentos utilizados nos

acabamentos de paredes e pavimentos. No sentido de minimizar esse desconforto, hoje em dia é muito apreciada a utilização de equipamentos de aquecimento e climatização tais como radiadores e aquecedores de toalhas.

Como já referido anteriormente, as instalações sanitárias tradicionais são compostas por banheira / base de duche, sanita, lavatório e, opcionalmente, bidé. As banheiras disponíveis no circuito comercial podem ter como material de fabrico o ferro fundido recoberto com esmalte porcelânico, chapa de aço com acabamento em esmalte vitrificado ou material acrílico. Qualquer uma das banheiras referidas tem dimensões que variam entre 1,20 a 1,70 m de comprimento e 60 a 70 cm de largura. As banheiras em ferro fundido têm como principal característica a sua grande resistência. Têm como principais inconvenientes o seu elevado preço, assim como o peso substancialmente superior a de outro tipo de banheira. As banheiras em chapa de aço caracterizam-se pela sua leveza, em relação às de ferro fundido, permitindo ainda um acabamento de melhor qualidade. No entanto, não permitem em quaisquer circunstâncias, reparações pelo que tem caído em desuso a sua utilização nas habitações. Atualmente vulgarizou-se a utilização de banheiras em material plástico. São fabricadas, predominantemente, com resinas de poliéster reforçadas com fibra de vidro e resinas acrílicas. Este tipo de banheiras tem largas vantagens relativamente às de ferro fundido e chapa de aço das quais se destacam a sua leveza, facilidade de aplicação, a disponibilidade em diversos modelos, design e cores, permissão de colocação de torneiras na própria banheira, entre outros.

Atualmente, a colocação de bases de duche tem sido maior em relação às banheiras, por razões de espaço e conforto. As bases de duche comerciais apresentam uma variedade de modelos com diversa geometria e dimensões. Regra geral, possui uma superfície com dimensões que variam entre 0,70 m a 1,20m e uma profundidade de 15 a 20 cm. As bases podem ser fabricadas com o mesmo tipo de material usado no fabrico de banheiras, visto anteriormente. Devem ter, normalmente, um piso antiderrapante, que é conseguido por meio de umas ranhuras situadas no fundo da base. No que se refere às torneiras colocadas junto às banheiras e bases de duche, é importante salientar que estas podem ser fixas ou móveis. No primeiro caso, estão instaladas a uma altura que varia entre 1,85 e 1,90 m e podem dispor de um rótulo para dar uma certa inclinação. Quando são chuveiros móveis, têm um tubo flexível de material plástico ou metálico que possibilita uma grande amplitude de movimentos.

Quanto aos lavatórios, vulgarmente aplicados nas instalações sanitárias de uma habitação, podem ser de coluna, de consola, de encastrar ou de embutir; Figura 59 a). A altura ideal para a colocação do lavatório varia entre 83 e 85 cm do pavimento. A zona superior do lavatório é comercialmente designada por cuba. O lavatório de coluna é formado por uma única peça, incluindo uma cuba que se apoia numa coluna (pé) fixada ao pavimento. O tubo de descarga do esgoto é colocado no interior da coluna onde é encaminhado para o esgoto geral. O lavatório de consola, fixado à parede, tem a vantagem relativamente ao anterior de permitir um efeito estético de espaço amplo. Quando existe espaço suficiente pode optar-se pela instalação de uma bancada, normalmente fabricada em pedra natural, onde serão colocados os lavatórios. Optando por esta solução, os lavatórios podem ser de dois tipos: de encastrar superiormente ou de embutir inferiormente. No primeiro caso, o lavatório será encastrado superiormente ao tampo, apoiando simplesmente neste. Optando-se pelo lavatório de embutir, este será fixado inferiormente ao tampo, por meio de grampos metálicos ou colados com cola de pedra. Na zona inferior ao tampo é comum instalar um móvel de arrumação e apoio à higiene pessoal.

As torneiras podem ter diversas designações de acordo com o seu funcionamento. Nas torneiras misturadoras tradicionais, a temperatura de água é conseguida pelos movimentos executados nos manípulos de água quente e fria. As torneiras monobloco permitem, com um só manípulo, a mistura de água quente e fria. A torneira monocomando, que com um único manípulo movimentado em diversas posições, regula o fluxo, a temperatura, a abertura e o fecho. Por fim, as torneiras termostáticas permitem, por incorporação de um dispositivo, a regulação prévia da temperatura desejada.

A sanita pode ser fixada no pavimento, sanita clássica, ou na parede, sendo, neste caso, designada por sanita em consola, Figura 59 b). A descarga da sanita pode ser efetuada utilizando diversos sistemas, destacando-se: autoclismo saliente ou encastrado, de descarga dupla ou única e fluxómetros.





a)



b)

Figura 59- a) Lavatório de coluna, de consola e de embutir, respetivamente; b) Sanita clássica e sanita suspensa (consola), respetivamente [11]

O RGEU [4] sugere que as paredes das instalações sanitárias sejam revestidas com um material impermeável, de superfície aparente lisa e resistentes à ação da água e dos detergentes, com uma altura nunca inferior a 1,50 m. O azulejo é um material com larga aplicação no revestimento de paredes de instalações sanitárias, devido à sua resistência ao vapor de água, à facilidade de limpeza e ao efeito decorativo. A utilização de pedra natural (lito, granito, mármore), ou molduras de azulejo, proporciona um acabamento requintado. Os pavimentos são tradicionalmente revestidos com mosaicos cerâmicos ou pedra natural. Por forma a facilitar a limpeza e a minimizar danos em caso de inundações, a boa prática da construção aconselha a que o pavimento deste compartimento seja rebaixado 1 centímetro relativamente aos pavimentos contíguos. Os tetos das instalações sanitárias devem suportar a ação do vapor de água pelo que são acabados, normalmente, com estuque e pintados a tinta de esmalte ou anti fungos.

A construção de um WC convencional pode, segundo Lopes [13], recorrer ao uso de 150 a 250 peças que devem ser compradas, instaladas e verificadas na obra. Esta quantidade de produtos e serviços costuma acarretar desperdícios, atrasos e elevação dos custos da construção.

## 4.2. WC pré-fabricado

A construção de um quarto de banho em obra requer muitas precauções quanto à sua instalação, tendo em vista a quantidade de interferências elétricas e hidráulicas. Por esse motivo, a procura de alternativas acabadas de WC tem crescido de modo a otimizar alguns serviços adotando soluções prontas. Geralmente, o WC pré-fabricado é construído em linhas de produção industrial. Sendo assim, todas as etapas do controlo de qualidade, acabamentos e instalações são realizadas em fábrica.

O conceito de WC pré-fabricado surgiu em 1940 por um americano chamado Buckminster Fuller, que recebeu uma patente pela invenção do primeiro quarto de banho pré-fabricado. No período pós-guerra as exigências de velocidade nas construções aliadas ao alto custo da execução de quartos de banho levou com que Fuller criasse um WC, composto por quatro leves secções de plástico moldado. Os módulos pré-fabricados continham as louças sanitárias, as redes hidráulicas, os sistemas de ventilação e os acessórios sanitários (p.e., toalheiros), convertendo a construção do WC a uma mera ligação às redes do edifício. Dada a época, Fuller empregou sistemas inovadores no WC pré-fabricado tais como, métodos de poupança de água provenientes das descargas sanitárias. Em 1946, Bertrand Goldberg daria continuação ao conceito inovador que Fuller tinha criado. Apesar do WC pré-fabricado ser bastante apreciado pelos utilizadores, foram apenas construídos cerca de 2000 exemplares [23]. A Figura 60 ilustra o *Standard Prefabricated Bathroom* de Goldberg.



Figura 60- Imagem comercial do *Standard Prefabricated Bathroom* de Goldberg [23]

A principal característica de um sistema sanitário pré-fabricado é o facto de se adquirir o WC pronto, sendo apenas necessário executar a conexão das redes de água, esgoto e rede elétrica às presentes no edifício. Logo, é um sistema que simplifica as tarefas de aquisição e administração de uma obra, visto que o WC é comprado como qualquer outro produto, diferenciando-se assim do quarto de banho convencional que exige a compra e instalação de vários elementos sanitários. Ou seja, a aplicação do WC pré-fabricado visa reduzir etapas, diminuir riscos e abreviar a execução de serviços antes e após a conclusão de uma obra. A transformação das instalações sanitárias em “produto” torna possível estabelecer o custo unitário do WC pré-fabricado, uma vez que a aquisição é feita a preços definidos. Este fator é vantajoso na medida em que reduz os possíveis imprevistos e alterações nos cronogramas e orçamentos de uma determinada obra. É importante salientar que a instalação de um WC pré-fabricado induz a uma obra limpa e sem desperdícios.

Os quartos de banho pré-fabricados foram criados essencialmente para acelerar as obras de edifícios e caracterizam-se por transferir para a fábrica os processos de produção dos componentes e elementos construtivos [14].

As instalações sanitárias em obra costumam produzir desperdícios e podem mesmo causar atrasos e elevar os custos da construção [13]. A viabilidade dos WCs pré-fabricados relaciona-se com a racionalização dos projetos e a padronização dos produtos e serviços

[14]. O desenvolvimento deste produto pré-fabricado exige conhecimento técnico e integração dos projetos de arquitetura, estruturas e instalações.

Os WCs pré-fabricados vêm sendo desenvolvidos na Europa desde os anos 80 e aplicados em construções com elevadas exigências de desempenho e durabilidade [14]. Aportam inovações tecnológicas no processo de fabricação dos painéis constituintes e monoblocos. Estas inovações facilitam a produção, o controle, as inspeções e as manutenções necessárias sem grandes transtornos no uso destes equipamentos. Deste modo, os quartos de banho pré-fabricados podem simplificar consideravelmente a gestão da obra possibilitando o controle de custos e prazos de entrega. Segundo Sabbatini [15], o WC pré-fabricado pode ser fornecido já com o revestimento, louças, equipamentos sanitários e restantes acessórios assemelhando-se aos quartos de banho convencionais construídos em obra. Assim sendo, só é executada em obra a conexão das redes elétrica e hidráulica.

Os requisitos de um quarto de banho pré-fabricado são todos aqueles que devem ser observados para as instalações sanitárias construídas em obra. Estes WCs devem ser compactos, leves e resistentes de modo a facilitar a produção, transporte e montagem no local da obra.

Os monoblocos de WC são constituídos por pisos, paredes e painéis de teto cujas variantes construtivas podem ou não possibilitar adaptação às características de cada obra. Estes elementos, normalmente, necessitam de meios de elevação e transporte especializado para a colocação em obra. Atualmente, no mercado existem vários modelos de monoblocos de casa de banho com diferentes características e elementos construtivos. Esta vertente de monoblocos é mais usual em construção nova, com maior parte da instalação feita em edifícios públicos ou em edifícios privados quando construídos em grande escala.

A Pavicentro, empresa aveirense ligada à produção de peças de betão armado pré-esforçadas, possui na sua linha de produção os monoblocos completamente acabados, destinados a quartos de banho e cozinhas, Figura 61 [16]. Os monoblocos são constituídos por piso, paredes e teto baseados na moldagem a três dimensões, recorrendo a uma matriz cimentícia reforçada com uma estrutura em rede de fibra de vidro. Este sistema apoia diretamente sobre a laje do edifício, sendo necessário o recurso a meios de elevação na obra, Figura 62. Assim sendo, em fase de projeto é necessário uma adaptação de modo a possibilitar a instalação do monobloco. Os monoblocos da Pavicentro seguem para obra

completamente acabados, com todos os revestimentos, redes hidráulicas e elétricas, sanitários e seus acessórios.



Figura 61- Monobloco sanitário produzido pelo grupo Pavicentro [16]

O grupo Pavicentro aponta como principais vantagens na aquisição destes monoblocos o facto de reduzir os prazos finais da obra e imprevistos assim como custos finais, facilidade na coordenação e controlo da obra e da orçamentação, de evitar o recurso a mão-de-obra especializada, a facilidade de manuseamento, a sua resistência à corrosão, impacto e fogo e a garantia de um eficaz isolamento térmico e acústico.



Figura 62- Transporte, elevação e posicionamento do monobloco do grupo Pavicentro [16]

No mesmo conceito, a Tecnobagno é uma empresa brasileira especializada na execução de quartos de banho pré-fabricados (Figura 63) em betão armado e gesso cartonado ou com uma estrutura metálica e chapas resistentes à humidade [17]. O “Banheiro Pronto”, nome induzido ao produto, pode ser utilizado em hotéis, hospitais, habitações, empreendimentos comerciais ou em qualquer obra onde haja repetição de casas de banho, pois a sua fabricação é executada em linhas de produção industrial. Chegam prontos à obra, bastando apenas posicioná-los na área planeada e conectá-los às redes hidráulicas e elétricas existentes. Desta forma, todas as etapas de controlo de materiais, acabamentos, execução de instalações e controlo de qualidade são realizados na fábrica. Quanto maior a quantidade de casas de banho, menor o custo final de cada unidade.

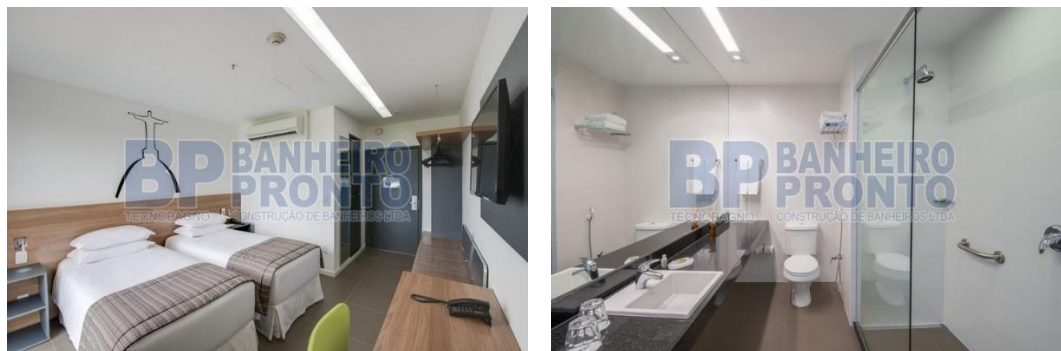


Figura 63- Monobloco de WC pré-fabricado “Banheiro Pronto” da Tecnobagno [17]

Na aquisição do WC pré-fabricado, a Tecnobagno aponta como principais vantagens a redução do número de mão-de-obra específica e/ou qualificada na obra, possibilidade de uma obra limpa sem perdas de materiais, eliminação de custos indiretos, alto potencial de racionalização e redução de custos, confiabilidade de prazos e orçamentos, custos exatos, entre outras [17].

Para instalar o monobloco de WC em obra é necessário antever no início do projeto pois são solicitadas algumas considerações. O vão necessário para a entrada do monobloco na obra deverá ser considerado a altura externa total do monobloco somada com 20 cm dos garfos de elevação. Quanto ao cálculo da sobrecarga na laje deve ser previsto pelo projetista da obra, pois o monobloco circulará pela laje até ao local definitivo.

O monobloco da Tecnobagno possui liberdade de dimensões, sendo adaptável a qualquer projeto. Os módulos pré-fabricados atendem a todas as especificações de cada projeto, incluindo projetos especiais para a mobilidade reduzida, sendo possível a execução da estrutura em dois sistemas: Sistema de betão armado e Sistema de placas de gesso cartonado. O sistema de betão armado, Figura 64 a), é constituído por betão com resistência de 30 MPa, formado por paredes e teto com espessuras mínimas de 4 cm, armadas com rede de aço de 5 mm que confere rigidez ao monobloco. Esta é a tecnologia mais utilizada, primeiramente por ser mais viável economicamente, deixando de ser usada somente se a laje não suportar a carga distribuída do monobloco.

A casa de banho pré-fabricada no sistema de placas de gesso cartonado, Figura 64 b), possui a estruturação das paredes executada com perfis de aço galvanizado com espessura de 1,0 e 1,5 mm, compondo as paredes na montagem através de solda, recebendo as placas de gesso cartonado hidrófugo (resistentes à humidade). O piso é composto por betão

armado com espessura de 5 cm, estruturado com rede de aço de 5 mm e perfis de aço galvanizado. Este sistema construtivo permite obter células com peso reduzido, com reflexo positivo na estrutura do edifício e nas exigências em equipamentos de elevação no estaleiro.



Figura 64- a) Monobloco da Tecnobagno no sistema de betão armado [17]; b) Monobloco da Tecnobagno no sistema de placas de gesso cartonado [17]

Após a montagem do monobloco, todo o piso é impermeabilizado, sendo que as paredes são impermeabilizadas em todo o perímetro a uma altura de 30 cm. São executados os testes de estanqueidade, antes e após a colocação do revestimento.

As instalações de entrada de água fria e água quente são feitas com sistema de tubagens flexíveis de polietileno reticulado (PEX), Figura 65. A conexão de entrada da alimentação está instalada no compartimento de inspeção ou conforme definição do projeto. As instalações hidráulicas são submetidas a testes de pressão de 5 kg/cm<sup>2</sup>, testados na linha de produção antes da entrega, prevenindo possíveis falhas nas conexões.



Figura 65- Rede de abastecimento de água, do monobloco da Tecnobagno, com tubagem de PEX [17]

Na drenagem de águas residuais são utilizados tubos de PVC com diâmetros de 40 e 100 mm, conforme o aparelho sanitário a drenar, Figura 66.





Figura 66- Rede de drenagem de águas residuais, do monobloco da Tecnobagno, com tubagem de PVC [17]

O sistema de instalação elétrica do monobloco pré-fabricado em comparação ao sistema de WC convencional é semelhante. O sistema de ventilação é executado conforme a solicitação da obra.

Assim como no sistema convencional, o WC poderá receber qualquer tipo de acabamento. Nas paredes utiliza-se argamassa de melhor qualidade uma vez que necessita de melhor fixação e maior resistência, já que estará sujeito ao transporte até à obra. O WC poderá receber cerâmicas, mármore e granito, pastilhas, faixas decorativas, pinturas e texturas, papel de parede, enfim, uma liberdade total de decoração. Nos casos em que não há janela de visita ou alçapão, o teto é executado em PVC removível, variando conforme solicitação da obra. Com todos os acessórios instalados, a última fase de acabamento interno das células monolíticas é a aplicação de silicone em todo o perímetro do piso e teto e no contorno da sanita.

É necessário que a obra possua um sistema de elevação externo que atinja o nível de cada pavimento da obra, Figura 67.



Figura 67- Elevação e posicionamento, do monobloco da Tecnobagno, em obra [17]



A Tecnobagno assume instalar até 25 monoblocos por dia, conforme o processo de construção do edifício, sendo que no sistema convencional são necessários pelo menos 4 dias para execução de apenas um WC. Estima-se a redução do cronograma de entrega da obra até 5 meses, Figura 68.



Figura 68- Cronograma comparativo entre o tempo de construção com o sistema convencional e com o sistema incluindo o WC pré-fabricado, segundo a Tecnobagno [17]

No mesmo conceito do monobloco de WC pré-fabricado anteriormente referido, mas de peso inferior, comercializa-se de igual forma o WC moldado em material plástico.

A empresa francesa AquaDream, do qual se baseia apenas na produção de WCs pré-fabricados, possui quatro modelos: AquaCool, AquaZeen, AquaComfort e AquaRelax, Figura 69 [18].



Figura 69- WCs pré-fabricados da AquaDream: AquaCool, AquaZeen e AquaComfort (AquaRelax), respectivamente [18]

A Ecoflex, por ter adquirido a linha de produção da AquaDream, possui modelos semelhantes. Os modelos idênticos ao AquaCool, AquaZeen e AquaComfort (AquaRelax) são o Studflex, Zenflex e Cosyflex, respectivamente. Os modelos apresentam componentes semelhantes entre si, alterando-se apenas as dimensões e geometria. Todos os modelos possuem base de duche, sanita e lavatório. A estrutura das cabines é composta por material homogêneo plástico (material reciclado) termo moldado, sendo assim mais leve que os modelos em betão vistos anteriormente. As paredes interiores e teto são de textura lisa e de padrão variável, enquanto que as paredes exteriores estão aptas a serem revestidas. A base é antiderrapante e possui a base de duche integrada no mesmo. Os modelos podem ser adquiridos já prontos, com montagem feita em fábrica, caso seja possível a elevação e mobilidade do produto na obra. Caso contrário, podem ser adquiridos por partes e montados no local a instalar, tendo em atenção que a peça de maior largura tem 60 centímetros. Os modelos AquaCool e AquaZeen vêm em 5 partes enquanto os modelos AquaComfort e AquaRelax vêm em 8 partes devido às suas dimensões acrescidas, Figura 70. Mesmo assim, devido à complexidade das ligações elétricas e hidráulicas à rede existente, a marca aconselha que a instalação seja feita por pessoas especializadas. As partes constituintes do módulo são aparafusadas entre si formando o monobloco. A vedação entre elas é feita através de uma fita de espuma.

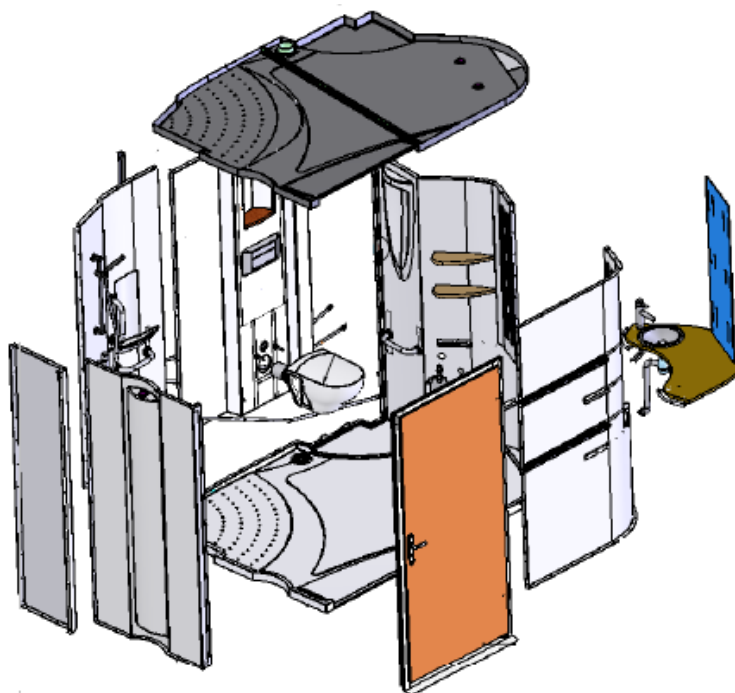


Figura 70- Modelo AquaComfort (AquaRelax) composto por 8 partes [18]

A sanita é suspensa e em cerâmica possuindo autoclismo de dupla descarga. A drenagem de água residual é feita por um tubo com diâmetro nominal (DN) de 100mm em PVC. A água residual proveniente do lavatório e da base de duche é escoada num tubo de PVC com diâmetro nominal de 40 mm, com sifão incluído. Os modelos possuem compartimentos de arrumação e espelho sobre o lavatório. A iluminação do monobloco é feita através de lâmpadas de baixo consumo. O monobloco vem preparado com sistema de ventilação para renovar o ar interior.

O primeiro WC concebido pela AquaDream foi o modelo AquaCool. Dedicado às aplicações da construção tais como hospitais, habitações, residências escolares, entre outros. É o modelo que possui as menores dimensões da marca tendo 1,40 x 1,00 m<sup>2</sup> e 2,34 m de altura, Figura 71 a). O modelo AquaZeen apresenta uma disposição diferente do lavatório, comparado ao AquaCool, e dimensões de 1,80 x 0,90 m<sup>2</sup> com 2,34 m de altura, Figura 71 b). Já mais espaçoso, a AquaDream apresenta o AquaComfort e o AquaRelax. Ambos os modelos são idênticos à exceção da abertura da porta. Enquanto o AquaComfort possui uma porta de batente, o modelo AquaRelax possui uma porta de correr de modo a satisfazer as condições necessárias para utilizadores com mobilidade reduzida. O AquaComfort, assim como o AquaRelax, têm dimensões de 2,42 x 1,75 m<sup>2</sup> e 2,12 m de altura, Figura 71 c).

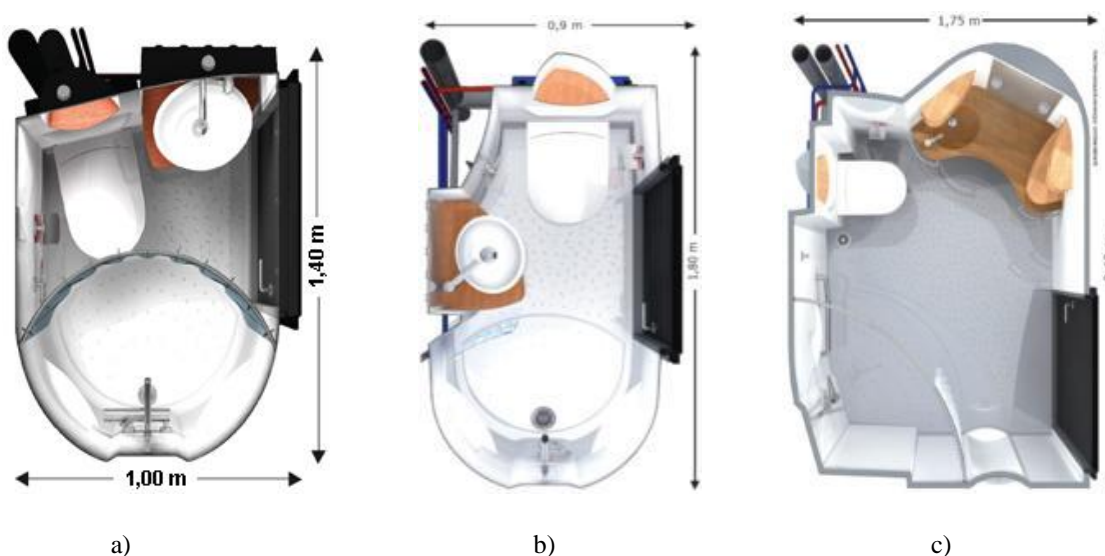


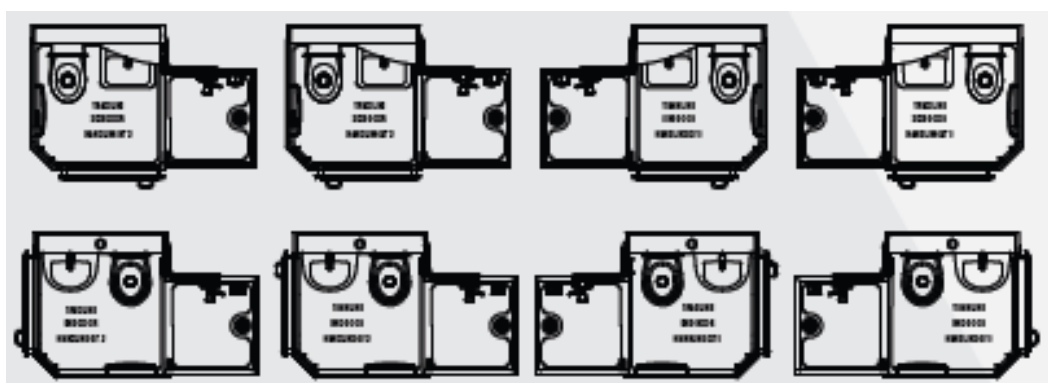
Figura 71- a) Dimensões em planta do modelo AquaCool [18]; b) Dimensões em planta do modelo AquaZeen [18]; c) Dimensões em planta do modelo AquaComfort (AquaRelax) [18]

Com características semelhantes, a Altor possui um monobloco denominado por Tradiline® com estrutura em poliéster reforçado com fibra de vidro, projetado tanto para

edifícios a construir como para reabilitação do edificado antigo, Figura 72 a) [19]. Um produto compacto que tem, aproximadamente, 2,28 m de altura, 2,10 m de comprimento, 1,39 m de largura e um peso de, aproximadamente, 200 kg. As suas paredes de superfície rugosa tornam-se um bom suporte para o revestimento cerâmico. O poliéster, que define a estrutura do monobloco, pode ter a tonalidade desejada. Trata-se de um modelo de fácil montagem sendo prevista a sua instalação em menos de seis horas. Possui instalação hidráulica para lavatório suspenso, base de duche, sanita suspensa e restantes acessórios sanitários (toalheiros, espelhos, entre outros). Entre outras características, o monobloco possui extração de ar e iluminação a 12 V (rede elétrica instalada). A Figura 72 b) ilustra as oito formas que tornam o produto versátil, para que seja compatível com as várias disposições, consoante o espaço de instalação. Logo, a disposição dos equipamentos sanitários, assim como a porta de entrada, variam conforme as condições do espaço onde se pretende instalar.



a)



b)

Figura 72- a) Monobloco de WC Tradiline® da Altor [19]; b) Versatilidade possível com o monobloco de WC Tradiline® da Altor [19]

### 4.3. Sistemas autoportantes para aparelhos sanitários suspensos

Os aparelhos sanitários suspensos, também denominados de consola, permitem um efeito estético muito apreciado pelos utilizadores, tendo ainda a vantagem da facilidade na limpeza do espaço sanitário. É o sistema mais usual em quartos de banho pré-fabricados uma vez que é um sistema de fácil instalação e proporciona ao utilizador uma visão mais espaçosa do compartimento. Para os lavatórios suspensos é necessário um sistema que garanta uma correta fixação deste a qualquer elemento resistente. Assim sendo, existem várias formas de fixar um lavatório mural. Uma das formas é a instalação de um sistema autoportante no interior de uma parede falsa, Figura 73. Esta estrutura pode ser fixada apenas no piso e / ou na parede de alvenaria. Existem várias estruturas autoportantes no mercado atual, o que leva à variedade de modelos. No geral, estas estruturas podem ser reguláveis em altura (aproximadamente 200 mm), reguláveis em profundidade entre, normalmente, 75 a 195 mm consoante os fabricantes. Por norma, o peso estático suportado por estas estruturas é de 1,5 kN (150 kgf). Geralmente, a distância usual dos varões roscados, onde o lavatório será fixo, pode variar entre 130 a 380 mm, conforme a distância entre furos que o lavatório possui. Esta distância varia bastante de marca para marca uma vez que existe uma variedade de lavatórios com geometrias diferentes no mercado. Existem também uns fixadores de grampo que são instalados em paredes de alvenaria, do qual se colocam com as distâncias requeridas. Estes fixadores são de um preço bastante inferior ao equipamento antes referido, mas tornam-se desvantajosos pelo facto de não serem possíveis aplicar em paredes ligeiras.

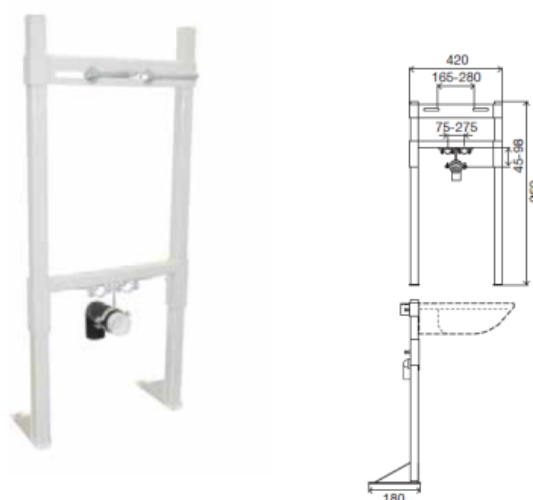


Figura 73- Estrutura autoportante para lavatório suspenso [20]

Da mesma forma, para sanitas suspensas é necessário elementos que garantam a sua fixação à parede. Esta fixação pode ser feita através de estruturas autoportantes ou fixadores de grampo.

Os fixadores de grampo, monetariamente mais acessíveis, só podem ser instalados em paredes de alvenaria com capacidades resistentes.

As estruturas autoportantes, Figura 74, podem ser fixadas no pavimento e/ou na parede de alvenaria. No caso de não existirem paredes de alvenaria adequadas, a estrutura deve ser fixada apenas no pavimento. Geralmente, este tipo de estruturas apresenta uma distância entre varões roscados de 180 / 230 mm, sendo assim compatíveis com todas as sanitas. As dimensões das estruturas variam entre fabricantes, sendo que as mais comuns são, aproximadamente, 1150 mm de altura e 500 mm de largura. A parte inferior destes elementos, pés de suporte, podem ser reguláveis em altura até, geralmente, 200 mm. A regulação em profundidade pode variar entre os 90 a 120 mm, consoante a compactes do autoclismo. A espessura da parede frontal de revestimento pode variar entre, aproximadamente, 10 a 80 mm. Normalmente, o peso estático suportado por estas estruturas é de 4 kN (400 kgf). O autoclismo, incorporado na estrutura, pode ser de descarga única ou dupla. A descarga dupla, frequentemente usada devido à economia hídrica, pode ser pré regulada em fábrica para o volume mínimo e máximo de água. As descargas mínimas variam entre os 2 a 6 litros enquanto as máximas podem chegar até aos 9 litros por descarga. O volume de descarga do autoclismo comum em habitações é de 3 litros para a mínima e 6 litros para a máxima. Os tipos de acionamento de descarga mais comuns são: mecânico, pneumático, *hidroboost* e elétrico. A estrutura autoportante poderá ter outras características opcionais como extratores de odores e estruturas adaptadas para cantos. Deverá ser um sistema com o maior número possível de placas de acionamento compatíveis. Geralmente, a curva de descarga associada aos sistemas é de DN 90 seguido de tubo DN 110.

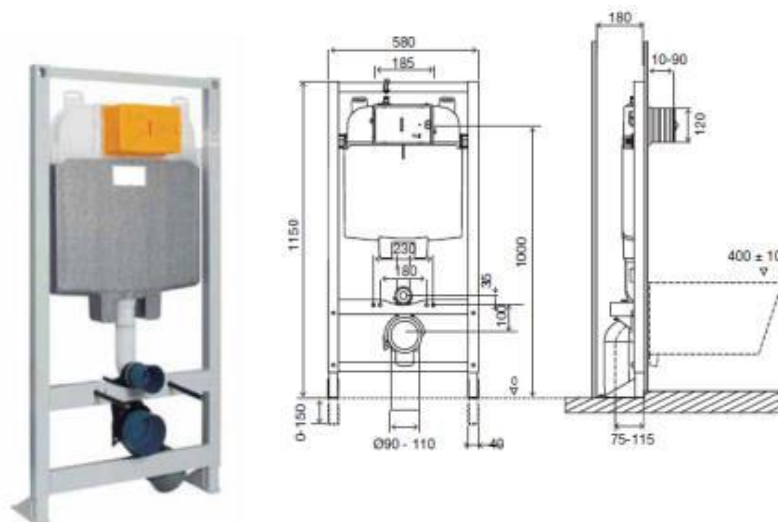


Figura 74- Estrutura autoportante para sanita suspensa [20]

A Teceprofil, da marca alemã Tece, projeta e instala estruturas flexíveis, estáveis e de fácil integração em pequenos espaços de instalações sanitárias, Figura 75 [21]. A Tece disponibiliza um programa informático, Teceplasorit, que dimensiona a estrutura de apoio com os módulos desejados e do qual é possível uma percepção 3D do produto final. A estrutura de suporte, fixada em parede e piso existente, é de montagem simples uma vez que não são necessárias ferramentas especiais, sendo montada com apenas três componentes básicos: uma cantoneira metálica, o perfil metálico e o ligador metálico estrutura / parede. Todos os módulos padrão são versáteis e devido aos acessórios ajustáveis podem ser instalados em diferentes locais, tais como, em frente a uma parede, numa estrutura metálica pilar/viga ou mesmo nos cantos de divisórias (canto a 45°) com o objetivo de economizar o espaço, independentemente do equipamento sanitário a instalar. A estrutura pode alcançar todo o pé direito ou apenas metade. Trata-se de uma solução rápida e limpa pois não produz poeiras e desperdícios aquando a sua instalação. Uma casa de banho pode ficar acabada em apenas um dia de trabalho uma vez que dispensa alvenarias e rebocos, usando assim acabamentos secos como o revestimento de painéis, com espessura de 12,5 mm, em betão reforçado com fibra de vidro. A Tece aposta em louças sanitárias suspensas, escolhidas posteriormente. A sanita suspensa com dupla descarga pode ser pré regulada com descargas mínimas de 3 litros e descargas máximas de 4,5; 7,5 ou 9 litros.





Figura 75- Estrutura Tece para instalações sanitárias [21]

O quarto de banho é um espaço que requer alguns requisitos e acessórios que tornem um espaço prático ao utilizador. A Tece possui uma estrutura com maiores dimensões em profundidade que permite instalar gavetas, prateleiras, espelho ou unidades internas com objetivo de armazenar produtos de higiene pessoal, assim como soluções associadas à mobilidade reduzida, Figura 76. As propriedades de isolamento acústico apresentam níveis sonoros aprovados para o conforto habitacional. Para tal, a solução que permite o isolamento acústico é a colocação de borrachas entre a estrutura de apoio e a parede / piso, entre as loiças sanitárias e os módulos e entre as barras metálicas e as cantoneiras que constituem a estrutura na totalidade.

As instalações sanitárias da Tece são estruturalmente testadas e, dependendo do projeto, podem atender classes de resistência ao fogo de R30 a R120. O principal fator que distingue as diferentes classes de resistência ao fogo nas estruturas Teceprofil é a forma como os módulos de parede são preenchidos com lã retardante de fogo, de acordo com os requisitos, e a espessura da parede de revestimento.

Numa vertente mais ligada à reabilitação, a Tece propõe a opção da parede modular ser toda montada em fábrica e instalar apenas os equipamentos sanitários assim como as ligações da rede hidráulica, rede elétrica, aquecimento e ventilação no local efetivo do WC. A grande vantagem da montagem das várias unidades em fábrica é o tempo economizado, sendo particularmente vantajoso para reabilitação de imóveis habitados. A duração da reabilitação de quartos de banho referentes a quatro andares de apartamentos, por exemplo, leva cerca de metade do tempo dos que são reabilitados individualmente.

Algumas características associadas à versatilidade deste equipamento é o facto de se poder associar outras componentes ao sistema tais como, por exemplo, a conexão de extração de



odores para módulos de sanita e lavatórios, e o acionamento superior ou frontal de descarga das sanitas. Os módulos variam de uma altura de instalação entre os 1120 e 820 mm, consoante o tipo de equipamento.



Figura 76- Estrutura Tece com maiores dimensões em profundidade [21]

#### 4.4. Equipamentos sanitários

Atualmente, a inovação do equipamento sanitário tem tido um crescimento exponencial com o intuito de solucionar os vários cenários que possam surgir em instalações sanitárias. Um exemplo disso são os módulos sanitários, Figura 77 a) [20]. Possuem dimensões reduzidas e são de fácil instalação, tornando-se assim uma boa opção para novas instalações sanitárias e em especial para renovação de quartos de banho, uma vez que não necessitam de intervenção nas paredes existentes, podendo se usar as ligações de entrada e saída de água presentes.

Na linha da inovação e tecnologia, em benefício do avanço sustentável, a Roca projetou um módulo sanitário, designado por W+W, composto por lavatório e sanita suspensos, Figura 77 b) [22]. O seu inovador sistema filtra a água do lavatório para a reutilizar na sanita. Este módulo sanitário tem como dimensões 860 mm de comprimento, 500 mm de largura e 760 mm de altura. Um módulo compacto em porcelana com acabamento branco, de instalação mural que possui descarga dupla de 3/6 litros. O W+W requer manutenção regular como, por exemplo, a limpeza do filtro e a verificação do nível de tratamento de água.



a)



b)

Figura 77- a) Módulo sanitário da OLI [20]; b) Módulo W+W da Roca [22]

## PARTE II – Módulo sanitário

### 5. SISTEMA DE WC MODULAR EM DESENVOLVIMENTO

#### 5.1. Caracterização geral

O sanitário pré-fabricado em desenvolvimento será fornecido acabado, ou seja, com as respectivas louças sanitárias (bacia de retrete, lavatório e chuveiro), paredes revestidas, componentes hidráulicas e elétricas e acessórios sanitários tais como, espelhos, toalheiros, etc., como se verifica na Figura 78. O sistema construtivo do módulo sanitário será constituído por uma estrutura resistente metálica e respetivo revestimento com placas leves e impermeáveis. Estas placas constituem as paredes do módulo sanitário, em que três delas estarão associadas aos aparelhos sanitários e uma delas ficará encostada a uma parede.

As características físicas do módulo sanitário são aspetos bastante importantes da sua adaptação nos diversos casos. As dimensões do módulo sanitário devem ser limitadas de modo a garantir que os mesmos possam ser facilmente transportados até ao seu local definitivo. Por exemplo, uma das dimensões das paredes do módulo sanitário deve ser inferior à largura de uma porta convencional, aproximadamente 80 cm, de forma a tornar possível a sua passagem por esta.

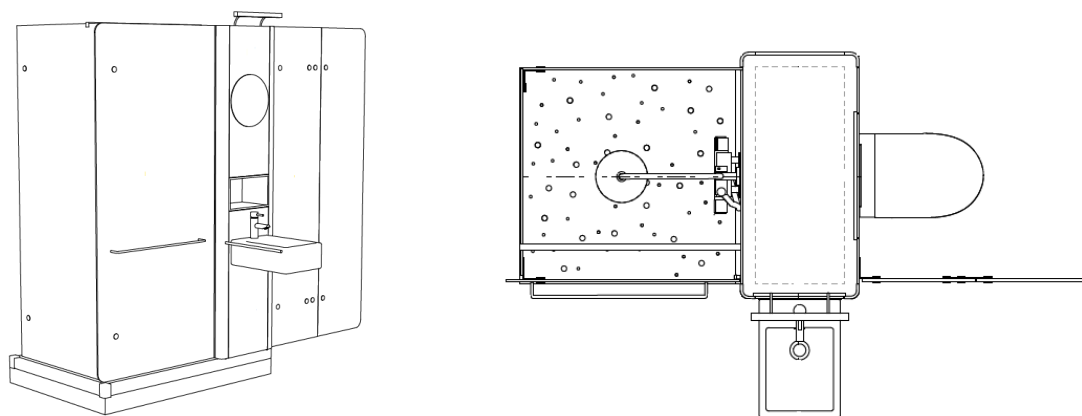


Figura 78- Módulo sanitário em análise

As Figuras 79 e 80 apresentam o traçado das redes de distribuição de água fria e quente, e as redes de drenagem de águas residuais, respetivamente. Estas localizam-se no interior do módulo sanitário, em que a rede de distribuição de água se encontra fixa às paredes associadas aos aparelhos sanitários e a rede de drenagem de águas residuais situa-se de forma assimétrica na zona central do módulo. Quanto à rede de distribuição de água, a canalização encarnada refere-se à rede de abastecimento de água quente e a rede representada a azul refere-se à rede de distribuição de água fria. Ambas as figuras apresentam o módulo sanitário visto em planta e os respetivos alçados de cada parede do módulo que sustentam os aparelhos sanitários, sendo denominadas pela parede referente à zona do chuveiro (Ch), à parede do lavatório (Lv) e à parede da bacia de retrete (Br).

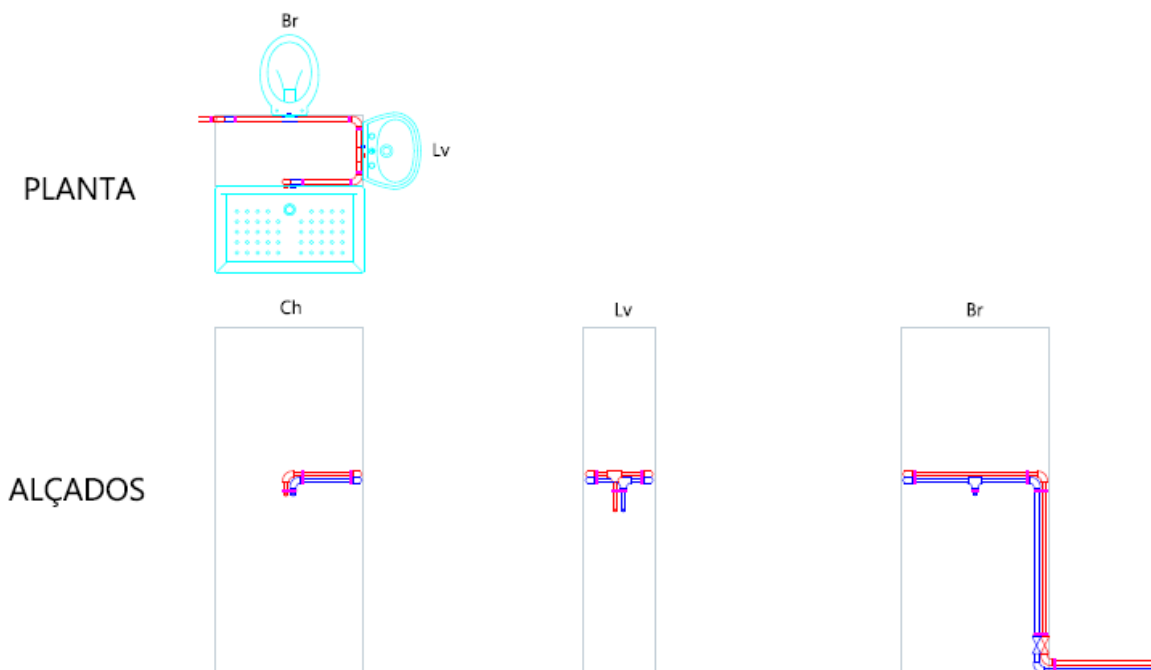


Figura 79- Planta e alçados do módulo sanitário respeitantes à rede de distribuição de água

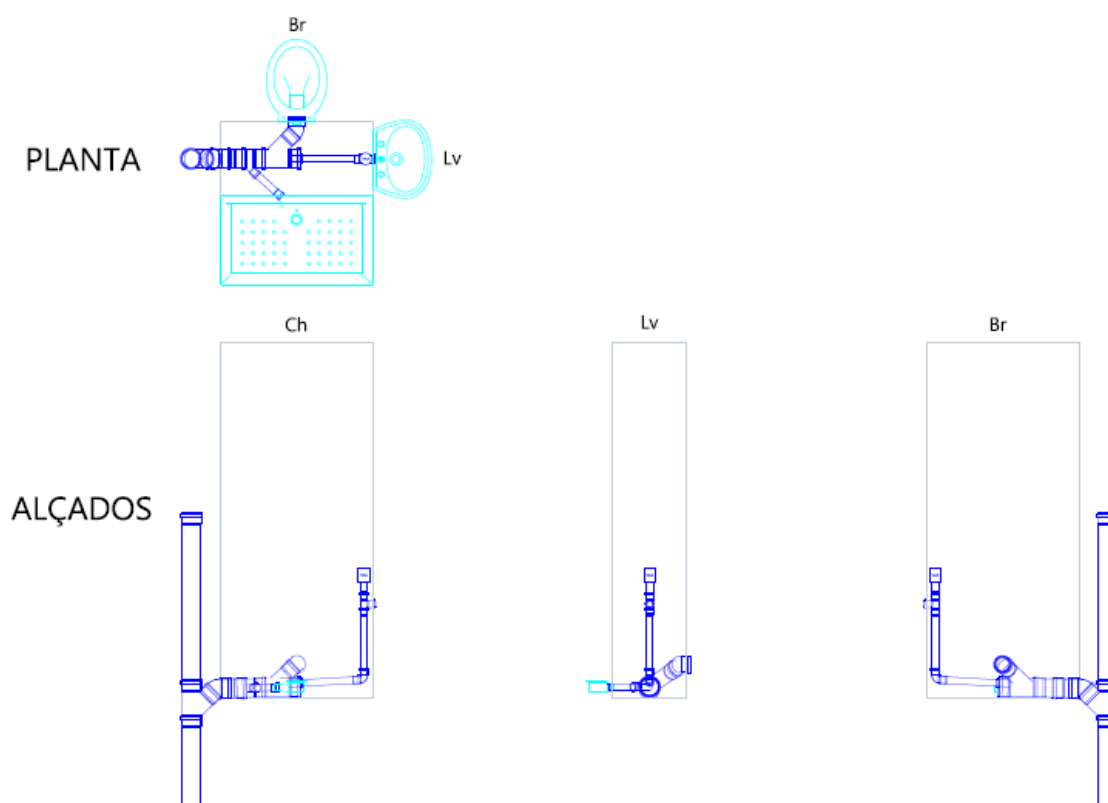


Figura 80- Planta e alçados do módulo sanitário respeitantes à rede de drenagem de água residuais

Os WCs pré-fabricados existentes no mercado são, geralmente, restritos quanto à versatilidade, pois cada modelo é fabricado apenas para uma única disposição. Quanto ao módulo sanitário em análise, este é projetado de modo a que, um único módulo tenha o máximo de configurações possíveis. Ou seja, o módulo sanitário deve ser versátil face às diferentes disposições e orientações de instalação. As Figuras 81 e 82 ilustram a polivalência das redes de distribuição de água e das redes de drenagem de águas residuais, respetivamente, no interior do módulo sanitário. Importa salientar que a conceção do traçado e o dimensionamento das redes hidráulicas tem em conta que uma única rede hidráulica satisfaça as quatro diferentes disposições ilustradas.

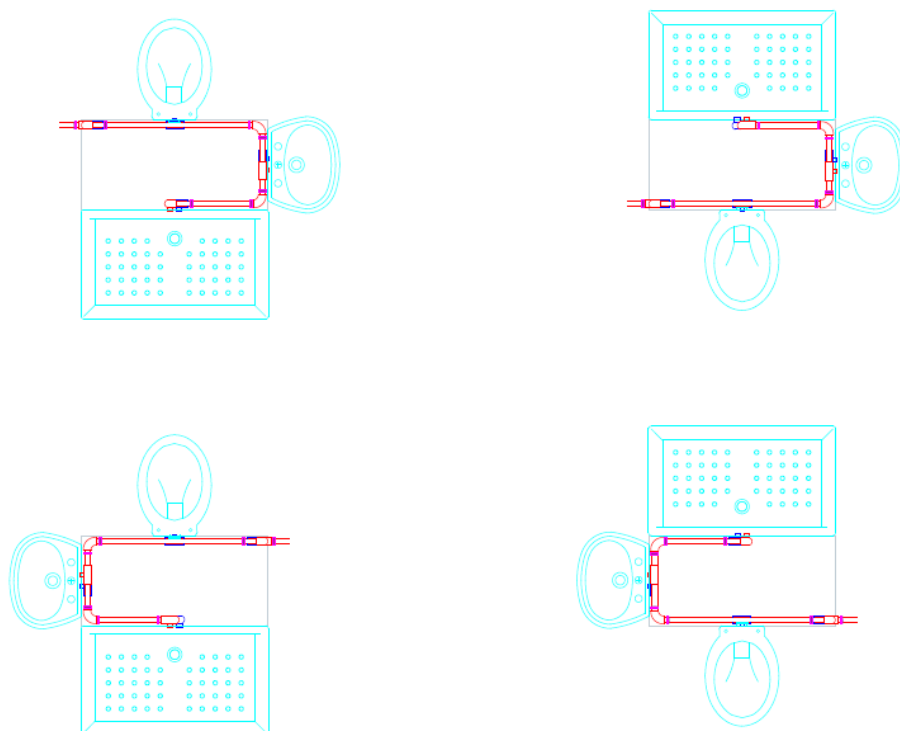


Figura 81- Versatilidade do módulo sanitário quanto à rede de distribuição de água

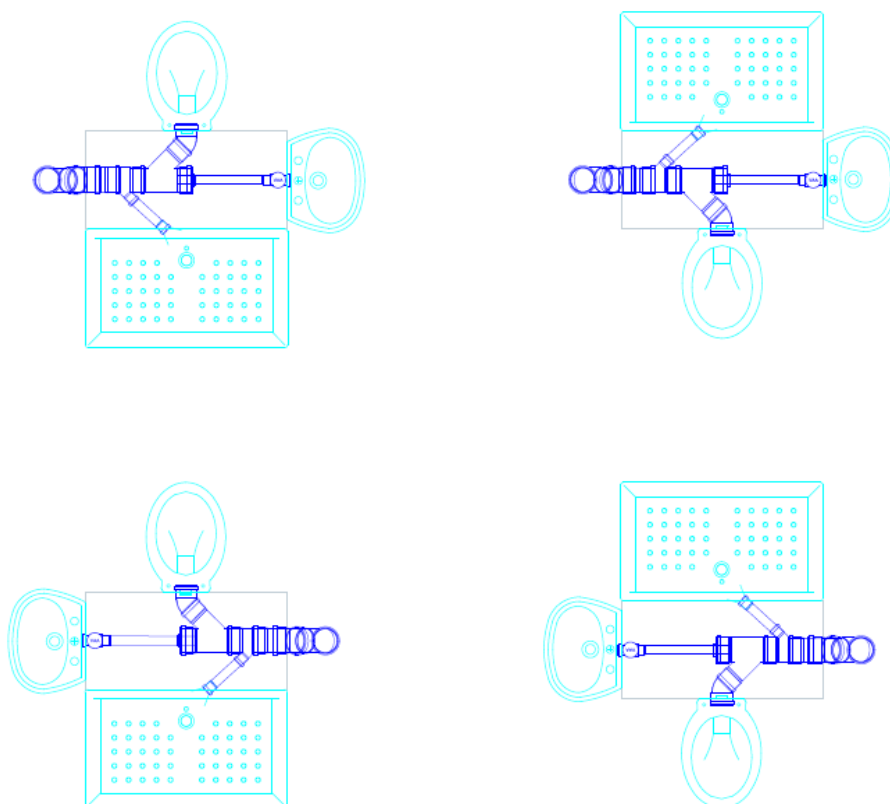


Figura 82- Versatilidade do módulo sanitário quanto à rede de drenagem de águas residuais

Os requisitos do projeto de um sanitário pré-fabricado são todos aqueles que devem ser observados para os quartos de banho construídos no local, acrescidos dos requisitos da produção industrializada. Logo, o módulo deve ser compacto, leve e resistente de modo a facilitar a manipulação, transporte e montagem no local da obra. Ou seja, o formato do módulo pré-fabricado é projetado com o objetivo de se adaptar às particularidades de cada tipo de edifício.

O grau de exigência quanto à privacidade nas instalações sanitárias é elevado. Este requisito diz respeito às zonas do chuveiro e bacia de retrete que devem ser vedadas de modo a garantir privacidade, sem no entanto impedir a ventilação e a iluminação mínimas destes ambientes.

A Figura 83 apresenta algumas diferenças entre o módulo sanitário em análise, um WC convencional e um monobloco sanitário constituído por material plástico [19].

O WC em análise neste capítulo apresenta alguns fatores idênticos aos monoblocos sanitários. Porém, o módulo sanitário em estudo torna-se mais vantajoso quanto à versatilidade, ocupação do espaço e transporte do produto até ao local de instalação. Dadas as características físicas, o módulo torna-se mais fácil de transportar até ao local de instalação comparativamente com os monoblocos sanitários geralmente comercializados. Quanto à economia do espaço, o módulo sanitário possui uma área em planta ligeiramente inferior à dos monoblocos comuns no mercado. Outro fator importante no desenvolvimento do módulo sanitário será o seu peso. Este fator é importante na reabilitação do edificado antigo, uma vez que os pisos são, geralmente, compostos por soalho de madeira aliados a uma resistência à flexão limitada.

Dado o conceito do WC tradicional e do WC pré-fabricado serem distintos, as diferenças entre os dois tipos de instalações sanitárias são notáveis.

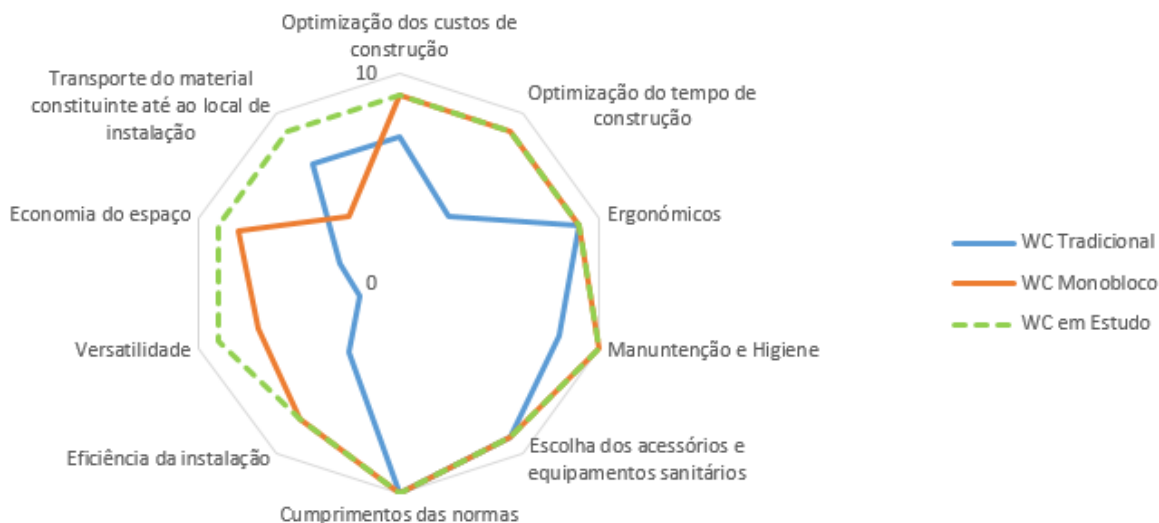


Figura 83- Comparação de vários fatores entre os WCs tradicionais, os monoblocos sanitários comuns no mercado e o módulo sanitário em estudo [adaptado de 19]

## 5.2. Análise dos componentes hidráulicos

### 5.2.1. Análise técnica dos tubos de distribuição de água

O subcapítulo 5.2.1 tem como objetivo analisar as tubagens e respetivos acessórios utilizados nas instalações prediais de distribuição de água.

As redes de abastecimento de água são compostas essencialmente por canalizações que permitem o transporte da água entre os vários pontos. É, portanto, necessário um estudo prévio destes elementos, com vista à otimização deste tipo de sistemas.

A escolha do material a utilizar na composição de uma rede hidráulica não deve apenas incidir no ponto de vista económico. É importante também conhecer as suas características, tanto a nível de aplicação, como também das características físico-químicas. As características mais relevantes são a tensão de rotura, a condutibilidade térmica, o coeficiente de dilatação térmica, a resistência à temperatura e a resistência à corrosão. Uma tubagem que seja bastante acessível a nível monetário, mas que, por exemplo, possua uma gama de acessórios compatíveis a preços elevados, pode não constituir uma rede hidráulica viável a nível económico. Assim sendo, o dimensionamento de uma rede de distribuição de água passa, essencialmente, por otimizar estes aspetos.



A distinção entre os materiais que podem ser utilizados em determinados tipos de rede é bastante importante, assim como a capacidade de uma tubagem para suportar as condições que lhe serão impostas. Numa rede de abastecimento de água fria existem menos restrições quanto ao tipo de tubagem a utilizar, comparado com uma rede de abastecimento de água quente, uma vez que existe um grande espectro de materiais que respeita as exigências feitas em relação às características já referidas.

Segundo a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), os materiais adequados para a conceção das redes prediais de distribuição de água são [24]:

- Polietileno (PE);
- Polietileno reticulado (PEX);
- Policloreto de vinilo clorado (PVC-C);
- Polipropileno (PP);
- Polibutileno (PB);
- Cobre (Cu);
- Aço inoxidável (AI);
- Aço galvanizado (AG);
- Tubos de parede multicamada.

A seguinte análise técnica das diferentes tubagens será constituída, de forma sintetizada, pela caracterização, tipo de ligações e uniões, vantagens e desvantagens, tendo sido introduzidos quadros e fotografias exemplificativas, para permitir uma melhor compreensão e esclarecimento dos tubos em questão. Este estudo visa minimizar eventuais erros e deficiências de seleção dos materiais. Deste modo, são abordadas diversas indicações importantes a saber aquando a aquisição de tubagens. Neste sentido, como forma de garantia da qualidade das instalações só devem ser utilizadas tubagens portadoras de marcação CE executada pelas entidades competentes para o efeito.

Importa referir que as tubagens podem ser instaladas à vista, em galerias, caleiras, tetos falsos, embainhadas ou embutidas, devendo ser sempre protegidas de ações mecânicas e, quando necessário, isoladas termicamente.

As empresas intervenientes neste sector de mercado procuram constantemente acompanhar a evolução das condições de vida das sociedades modernas. Assim, surgem no mercado

tubagens altamente desenvolvidas do ponto de vista tecnológico como, por exemplo, as tubagens quimicamente avançadas. Este tipo de tubagens aposta na qualidade da água dos sistemas de distribuição de água através de aditivos antimicrobianos. As tubagens antimicrobianas possuem um aditivo na sua camada interna que faz desaparecer a maior percentagem de microrganismos que são gerados no interior das paredes das tubagens [25]. Nas tubagens antimicrobianas não existe o fenómeno de corrosão, nem a formação de incrustações onde as bactérias possam residir e multiplicar-se [25]. Esta moderna solução está presente no mercado ainda de uma forma não generalizada, contudo acredita-se que ao longo dos próximos anos exista uma procura intensa deste tipo de material.

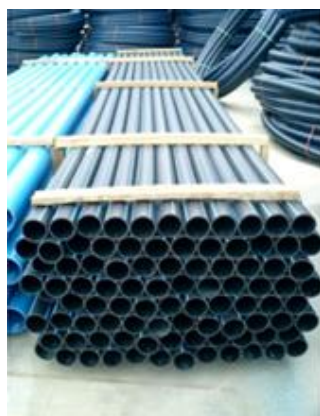
A utilização dos materiais na realização de canalizações tem vindo a sofrer algumas mudanças ao longo dos anos. A aplicação de tubagens metálicas tem vindo a ser reduzida, devido ao surgimento das tubagens termoplásticas. Os polímeros são caracterizados principalmente pela sua leveza, ausência de corrosão, flexibilidade e baixo preço que lhes conferem vantagens relativamente aos metais.

Estas tubagens, assim como grande parte das tubagens comercializadas, devem possuir o certificado da entidade responsável pela homologação, assim como a identificação da respetiva pressão e diâmetro. As características da água que transportam, bem como o material que as constitui são também requisitos obrigatórios [34].

#### **5.2.1.1. Polietileno (PE)**

No final do século XX, o polietileno, assim como maioria dos restantes plásticos, tornou-se o material predileto nas redes de abastecimento de água.

O polietileno é uma resina termoplástica e pode ser classificado em três tipos distintos: o polietileno de baixa, de média e de alta densidade, correspondendo respetivamente às siglas PEBD, PEMD e PEAD. Os diferentes tipos do polímero são possíveis devido à forma como o etileno é polimerizado aquando a sua fabricação, obtendo assim as soluções com diferentes massas volúmicas. Devido às suas características resistentes, a aplicação de tubagens de abastecimento de água em PEAD é mais usual que as tubagens em PEMD [31]. O PEBD caiu em desuso, sendo mais utilizado, por exemplo, em mangueiras de jardim. Assim sendo, serão abordadas as tubagens em polietileno de alta densidade, apresentadas na Figura 84.



a)



b)

Figura 84- a) Varas de tubagem de PEAD [27]; b) Rolo de tubo de PEAD [27].

O Quadro 5 apresenta, de forma sintetizada, algumas informações acerca dos tubos de PEAD.

Quadro 5- Quadro síntese dos tubos de polietileno de alta densidade [26] [27] [28] [29] [30] [33].

Polietileno de alta densidade (PEAD)	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os tubos são comercializados em rolos ou em varas de 3, 6 e 12 metros;</li> <li>- A tubagem de polietileno não resiste a temperaturas de água superiores a 25 °C, em funcionamento contínuo. No entanto, pode-se assumir temperaturas de serviço até 45 °C;</li> <li>- Os tubos apresentam uma tonalidade negra. Contudo, é possível encontrar tubos de PEAD com listagens longitudinais azuis.</li> </ul>
<b>Uniões</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por soldadura topo-a-topo (Figura 85), por eletrossoldadura ou através de uma manga auxiliar;</li> <li>- Com acessórios mecânicos termoplásticos (Figura 86) ou metálicos.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo peso;</li> <li>- Fácil instalação;</li> <li>- Instalação económica;</li> <li>- Elevada resistência à corrosão;</li> <li>- Reciclável;</li> <li>- Baixos custos de manutenção.</li> </ul>

<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Baixa resistência a elevadas temperaturas;</li><li>- Baixa resistência aos raios UV;</li><li>- Elevado coeficiente de dilatação térmica.</li></ul>
---------------------	--



a)



b)

Figura 85- a) União entre tubos de PEAD com soldadura topo a topo [26]; b) União entre tubos de PEAD com auxílio de uma manga [32].



Figura 86- Acessórios para tubagens de polietileno. Curva de 90°, tê, união com redução e tampão, respetivamente, em polietileno [36].

#### **5.2.1.2. Polietileno reticulado (PEX)**

Os tubos de polietileno reticulado em redes de abastecimento de água começaram a ser aplicados com mais frequência no início dos anos 90, sendo que anteriormente já eram aplicados em sistemas de aquecimento. O polietileno reticulado (Figura 87) advém do polietileno de alta densidade, correspondendo o “X” na sigla PEX à reticulação que o polímero inicial sofre, do qual é responsável pelas novas ligações químicas que lhe vão

conferir, para além de um aumento da sua resistência mecânica, essencialmente um aumento da sua capacidade de resistência à temperatura [37].



Figura 87- Tubagem PEX em rolo e em varas, respetivamente [39].

O Quadro 6 apresenta a informação, de forma sintetizada, dos tubos de polietileno reticulado (PEX).

Quadro 6- Quadro síntese dos tubos de polietileno reticulado [26] [35] [37] [38] [39]

Polietileno reticulado (PEX)	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os tubos são comercializados em rolos ou em varas de 3 ou 6 metros;</li> <li>- As tubagens suportam temperaturas até 95°C em condições descontínuas (por picos);</li> <li>- Os tubos apresentam, normalmente, uma tonalidade branca meio translúcida, podendo também, no entanto, conter alguma coloração.</li> </ul>
<b>Uniões</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Com acessórios mecânicos termoplásticos ou metálicos (Figura 88) com respetivos anéis de vedação;</li> <li>- Com acessórios de união fácil de <i>click / press</i> (Figura 89).</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada durabilidade;</li> <li>- Elevada resistência à corrosão;</li> <li>- Perdas de carga reduzidas;</li> <li>- Baixo peso;</li> <li>- Elevada resistência a águas de PH baixo (ácidas).</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada probabilidade de fugas numa instalação executada de forma incorreta;</li> <li>- Baixa resistência aos raios UV;</li> <li>- Elevado coeficiente de dilatação térmica.</li> </ul>



Figura 88- Acessórios em latão para tubagens PEX [39]

Na vanguarda da tecnologia das redes hidráulicas, surgem no mercado, embora ainda não muito utilizados, as uniões fáceis de *click / press* (Figura 89). Estas ligações são efetuadas comprimindo os tubos a unir com o acessório, sendo desnecessário quaisquer ferramentas [39][40]. Assim, as redes hidráulicas instaladas com este tipo de união tornam-se muito mais fáceis e rápidas de executar.



Figura 89- Acessórios de click / press [39] [40].

#### **5.2.1.3. Policloreto de vinilo clorado (PVC-C ou C-PVC)**

A cloração do policloreto de vinilo relevou-se durante a 2ª Guerra Mundial. Contudo, apenas no início dos anos 90 foram homologadas em Portugal, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), as primeiras exigências técnicas deste tipo de tubagens e acessórios. O Quadro 7 refere algumas informações acerca das tubagens constituídas por policloreto de vinilo clorado (Figura 90).



Figura 90- Tubagens de PVC-C [43].

Quadro 7- Quadro síntese dos tubos de policloreto de vinilo clorado [26] [29] [33] [41] [42] [45].

<b>Policloreto de vinilo clorado (PVC-C ou C-PVC)</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os tubos são comercializados em varas de 3 ou 6 metros;</li> <li>- As tubagens resistem a temperaturas de água na ordem dos 90 °C;</li> <li>- As tubagens são geralmente opacas e de cor branca, podendo ser comercializadas noutros tons.</li> </ul>
<b>Uniões</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Com acessórios do mesmo material unidos com o recurso a colagem (Figura 91);</li> <li>- Com acessórios mecânicos metálicos, geralmente em latão, munidos de um anel de borracha.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reciclável;</li> <li>- Elevada resistência à corrosão;</li> <li>- Fácil manuseamento;</li> <li>- Baixo peso;</li> <li>- Baixa condutibilidade térmica;</li> <li>- Elevada resistência química.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibilidade ao choque;</li> <li>- Baixa resistência aos raios UV.</li> </ul>



Figura 91- Acessórios de policloreto de vinilo clorado munidos com uma inserção em latão e anel de vedação em borracha [44].

#### 5.2.1.4. Polipropileno (PP)

O polipropileno (Figura 92) foi descoberto em meados do século XX, mas só nos finais do século passado o material teve utilidade em canalizações de abastecimento de água. O Quadro 8 apresenta as vantagens e desvantagens do uso deste tipo de tubagens assim como algumas das suas características.



Figura 92-Tubagem de polipropileno [47].

Quadro 8- Quadro síntese dos tubos de polipropileno [30] [33] [46] [47] [48]

Polipropileno (PP)	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os tubos são comercializados em varas de 3 ou 6 metros;</li> <li>- As tubagens não resistem a temperaturas de água superiores a 80 °C;</li> <li>- Os tubos podem apresentar diversas cores (verde, azul, bege, etc.).</li> </ul>
<b>Uniões</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Com recurso a acessórios do mesmo material ou metálicos (Figura 93), executadas por eletrossoldadura, com abocardo para soldadura ou de forma mecânica.</li> </ul>



<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reciclável;</li> <li>- Elevada resistência à corrosão;</li> <li>- Baixos custos de manutenção;</li> <li>- Baixo peso;</li> <li>- Baixa condutibilidade térmica;</li> <li>- Elevada resistência eletroquímica.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa resistência aos raios UV;</li> <li>- Elevadas espessuras de parede.</li> </ul>



Figura 93- Acessórios em polipropileno [26]

#### 5.2.1.5. Polibutileno (PB)

As tubagens de polibutileno, apresentadas na Figura 94, são utilizadas nas redes prediais de distribuição de água fria e quente. O Quadro 9 refere algumas informações acerca das tubagens de polibutileno.

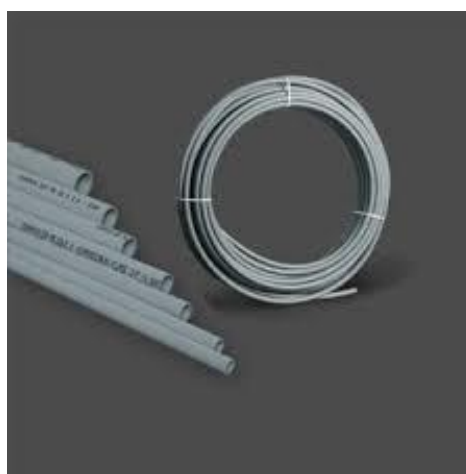


Figura 94- Tubagens de polibutileno em varas e em rolo.

Quadro 9- Quadro síntese dos tubos de polibutileno [33] [59] [60] [61].

<b>Polibutileno (PB)</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os tubos são comercializados em rolos ou em varas de 3 ou 6 metros;</li> <li>- Geralmente, as tubagens suportam temperaturas de água até os 80 °C, podendo, no entanto, estas se encontrarem dimensionadas para suportar temperaturas até 90 °C em condições de funcionamento descontínuo e durações não excessivas;</li> <li>- Os tubos possuem colorações diversas (cinza, branco, etc.).</li> </ul>
<b>Uniões / Ligações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Com recurso a eletrossoldadura, com abocardo para soldadura ou com uso de acessórios mecânicos, de material plástico ou metálico.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligeireza;</li> <li>- Baixo peso;</li> <li>- Flexível;</li> <li>- Elevada resistência à corrosão;</li> <li>- Facilidade de instalação em obra;</li> <li>- Elevada resistência eletroquímica.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa resistência aos raios UV (em geral);</li> <li>- Baixa resistência a ácidos e bases fortes.</li> </ul>

#### 5.2.1.6. Cobre (Cu)

O cobre (Figura 95) é empregado atualmente na produção de várias peças, sendo um dos metais mais importantes do ramo industrial. Uma das utilizações deste metal na indústria é na produção de tubos para os sistemas prediais de distribuição de água fria e quente [49]. Atualmente, a utilização de cobre nas redes de distribuição de água para consumo humano tem vindo a decrescer, devido principalmente ao seu peso, à possibilidade de se originarem fenómenos de corrosão e ao seu elevado custo e consequente mão-de-obra especializada.



Figura 95- Tubagens de cobre [50]

O seguinte quadro apresenta alguns tópicos referentes às tubagens de cobre.

Quadro 10- Quadro síntese dos tubos de cobre [30] [34] [51] [52] [53] [65].

<b>Cobre (Cu)</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os tubos são comercializados em rolos ou em varas de 5 metros;</li> <li>- As tubagens de cobre suportam altas temperaturas, na ordem dos 120°C em funcionamento descontínuo;</li> <li>- Os tubos apresentam uma tonalidade avermelhada. No entanto, podem conter algum tipo de revestimento que lhes concede uma tonalidade diferente.</li> </ul>
<b>Unões / Ligações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A união entre os acessórios e os tubos pode ser feita por brasagem capilar, por compressão ou com recurso a soldadura (Figura 96). É igualmente usual o recurso a uma solução mista.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada durabilidade;</li> <li>- Elevada resistência à corrosão;</li> <li>- Reduzida tendência a incrustações;</li> <li>- Elevada resistência química.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mão-de-obra especializada;</li> <li>- Custo elevado.</li> </ul>

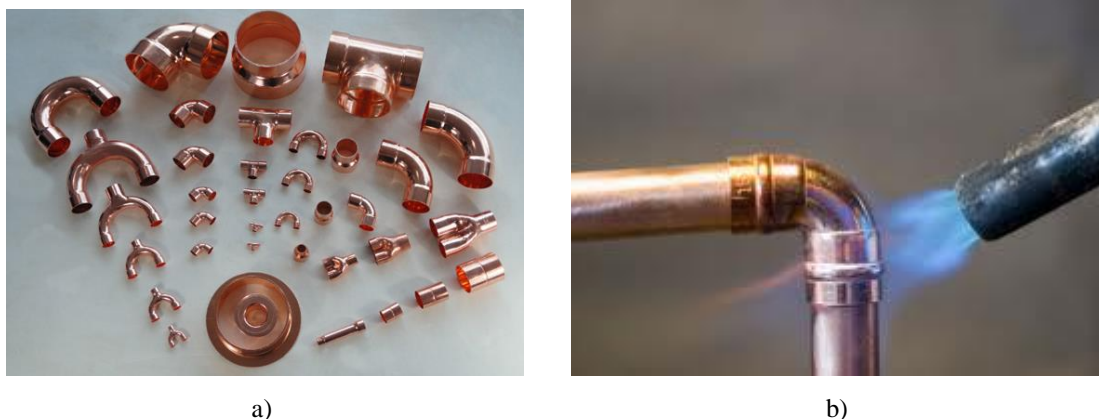


Figura 96- a) Acessórios em cobre; b) Brasagem de uma união curva de 90° [54].

#### 5.2.1.7. Aço inoxidável (AI)

O aço inoxidável, ilustrado na Figura 97, tem vindo a ser aplicado em redes hidráulicas devido às suas boas propriedades estéticas e, acima de tudo, devido à sua boa capacidade de resistência à corrosão. As tubagens de aço inox podem agrupar-se em quatro tipos distintos, consoante a constituição da liga que os caracteriza. Assim, podem obter-se aços inox ferríticos, martensíticos, austeníticos e endurecidos por precipitação. Para o transporte de água são empregues tubagens de aço austenítico e ferrítico, uma vez que possuem uma grande resistência à corrosão [34]. Embora as tubagens de aço inoxidável apresentem uma elevada resistência à corrosão generalizada, estas canalizações são frágeis à corrosão localizada (picadas e corrosão intersticial). Os tubos de aço inox mais utilizados nas redes hidráulicas prediais, do tipo austenítico, possuem duas séries. A série 1 composta por parede fina e a série 2 com parede média.



Figura 97- Tubagem de aço inoxidável [26].

O Quadro 11 apresenta, de modo geral, algumas das características das tubagens de aço inoxidável.

Quadro 11- Quadro síntese dos tubos de aço inox [26] [55] [65].

<b>Aço inoxidável (AI)</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os tubos são comercializados em varas com comprimentos variáveis entre os 4 e os 7 metros;</li> <li>- As tubagens não resistem a temperaturas de água superiores a 80°C em funcionamento contínuo;</li> <li>- O aspeto dos tubos exhibe um acabamento brilhante de cor prateada, sendo também possível apresentarem outras tonalidades quando já submetidas a pintura.</li> </ul>
<b>Unões</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sempre que possível, com ligações do tipo <i>Press fitting</i> (compressão) (Figura 98), só se admitindo ligações por soldadura em diâmetros em que não seja possível a utilização de acessórios com uniões de compressão;</li> <li>- Com acessórios mecânicos de aperto roscado.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada resistência ao choque;</li> <li>- Excelente acabamento;</li> <li>- Baixa condutibilidade térmica.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar o contato com a argamassa cujos materiais podem originar cloretos;</li> <li>- Evitar o contacto entre aço inox e aço corrente (corrosão eletrolítica);</li> <li>- Custo elevado.</li> </ul>



Figura 98- Acessórios de compressão e respetiva ferramenta manual [52].

#### 5.2.1.8. Aço galvanizado (AG)

O aço galvanizado surge do revestimento do aço por uma camada de zinco, alterando as suas características resistentes quanto à oxidação. Importa referir que a não sujeição dos

tubos a velocidades elevadas e a temperaturas muito altas de água permite obter períodos de vida bastante aceitáveis. O contacto entre o aço galvanizado e outros metais, como por exemplo o cobre, é outro fator a ter em conta na durabilidade das tubagens de aço galvanizado (Figura 99).



Figura 99- Tubagens de aço galvanizado.

O quadro abaixo apresentado expõe algumas informações referentes às tubagens de aço galvanizado.

Quadro 12- Quadro síntese dos tubos de aço galvanizado [26] [34] [51] [56] [65].

Aço galvanizado (AG)	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- As canalizações são comercializadas em varas de 4, 6 e 12 metros;</li><li>- As tubagens de aço galvanizado são capazes de suportar temperaturas na ordem dos 60°C;</li><li>- Os tubos apresentam, normalmente, uma tonalidade prateada sendo que também é possível possuírem outras cores.</li></ul>
<b>Uniões</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sempre que possível, com ligações do tipo <i>Press fitting</i> (compressão) (Figura 98), só se admitindo ligações por soldadura em diâmetros em que não seja possível a utilização de acessórios com uniões de compressão;</li><li>- Com acessórios mecânicos de aperto roscado.</li></ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Estabilidade dimensional;</li><li>- Elevada resistência mecânica;</li><li>- Elevada durabilidade.</li></ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Resistência à corrosão limitada;</li><li>- Elevada condutibilidade térmica.</li></ul>

### 5.2.1.9. Multicamada

Na resposta pelo material com boas características no mercado, surge a tubagem multicamada, combinando as vantagens das tubagens metálicas e das tubagens termoplásticas. No mercado atual existe uma vasta gama de tubagens multicamada disponíveis, com diferentes características. O tubo multicamada pode ter duas a cinco camadas e é caracterizado, mais comumente, por uma camada interna de plástico, por uma camada intermédia metálica (normalmente alumínio), que pode ser soldada longitudinalmente (topo a topo) com laser, e por uma camada externa de plástico. Assim, torna-se possível reunir as vantagens dos materiais termoplásticos com as dos metais [57]. Na Figura 100 está representado a tubagem multicamada constituída por duas camadas de PEX e uma de alumínio.



Figura 100- Acessórios e tubos de multicamada [58].

O Quadro 13 é referente às tubagens de parede composta e apresenta, de forma sucinta, algumas características deste tipo de tubagens.

Quadro 13- Quadro síntese dos tubos de parede multicamada [32] [53] [57] [65]

Multicamada	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De modo geral, é fornecido com uma vasta gama de diâmetros externos em rolo ou em vara;</li> <li>- As tubagens suportam temperaturas até 100 °C em condições de funcionamento descontínuo e durações não excessivas;</li> <li>- Os tubos podem tomar diversas cores, consoante o material exterior utilizado, sendo que a grande maioria dos tubos apresenta cor branca.</li> </ul>

<b>Unões</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por <i>press fitting</i> (Figura 101), ou seja, através de equipamentos de pressão que apertam as peças (usualmente de latão) aos tubos, em toda a superfície;</li> <li>- Por acessórios mecânicos de aperto roscado (Figura 102) e acessórios de <i>click / press</i>.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligeireza;</li> <li>- Elevada resistência à abrasão;</li> <li>- Elevada resistência eletroquímica;</li> <li>- Elevada resistência à corrosão;</li> <li>- Elevada resistência às incrustações;</li> <li>- Conexão relativamente rápida.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mão-de-obra especializada;</li> <li>- Baixa resistência aos raios UV (em geral);</li> <li>- Redução do diâmetro interno nos acessórios.</li> </ul>



Figura 101- Acessórios *press fitting* e equipamento manual de aperto [32]

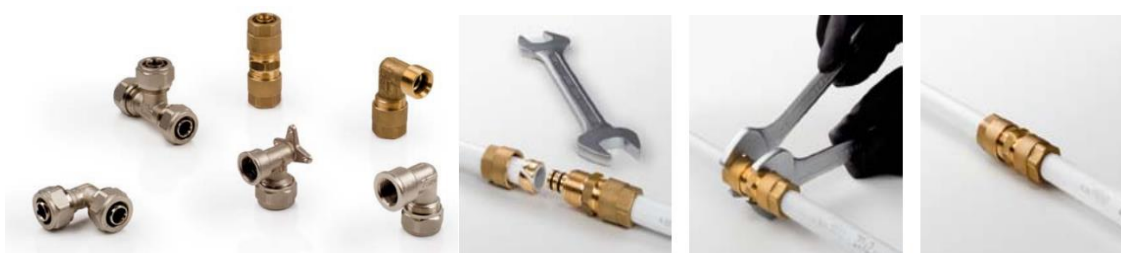


Figura 102- Acessórios metálicos de aperto roscado [32].



### 5.2.2. Análise técnica dos tubos de drenagem de águas residuais

O presente capítulo pretende analisar o conjunto de tubagens comumente utilizadas, segundo a ANQIP, nas instalações prediais de drenagem gravítica de águas residuais.

Com o intuito de abranger mais informação acerca dos tubos analisados neste capítulo, serão referidos os tipos de ligação compatíveis em cada tipo de tubo e um conjunto de especificações técnicas.

Numa rede predial de drenagem de águas residuais, os materiais utilizados devem suportar vários parâmetros, tais como a agressividade do líquido e a estanquidade.

Segundo a ANQIP [24], os materiais adequados para a conceção das redes prediais gravíticas de águas residuais são:

- Ferro fundido (FF);
- Polipropileno com parede estruturada;
- Policloreto de vinilo (PVC-U), Série B ou BD;
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Polipropileno (PP), Série B ou BD.

As tubagens acima referidas serão objeto de estudo, numa análise técnica que será dividida, de forma sucinta, pelas características do material, tipo de ligações possíveis, vantagens e desvantagens. Deste modo, pretende-se um estudo técnico adequado de forma a minimizar erros e deficiências na seleção de materiais. As tubagens, posteriormente estudadas, podem ser instaladas à vista, em galerias, caleiras, tetos falsos ou embutidas.

De forma a garantir uma melhor compreensão dos tubos em estudo, a análise das tubagens é feita com auxílio de quadros e fotografias exemplificativas.

No âmbito do melhoramento das condições de vida das sociedades modernas, as empresas intervenientes neste sector de mercado procuram constantemente respostas às exigências dos utilizadores. A exemplo disso, surgiram as tubagens insonorizadas, para as redes de drenagem em edifícios, que se encontram numa fase de ascensão no mercado nacional e internacional.

As redes prediais de drenagem de águas residuais compostas por qualquer tipo de tubagem devem ser instaladas em conformidade com o referencial normativo em vigor, bem como

as especificidades técnicas do material. Importa referir que, na aquisição das tubagens, estas devem possuir a certificação como garantia de qualidade e bom funcionamento da instalação [65].

#### **5.2.2.1. Ferro fundido (FF)**

O ferro fundido (Figura 103) é o material metálico geralmente mais utilizado nas instalações prediais de drenagem de águas residuais. Normalmente, os tubos de ferro fundido em sistemas de drenagem de edifícios são mais utilizados em tubos de queda, apesar de atualmente já cair em desuso a sua empregabilidade [34]. Os principais motivos do desuso das tubagens em ferro fundido são referidos no Quadro 14.



Figura 103- Tubagens e acessórios em ferro fundido [26]

Quadro 14- Quadro síntese dos tubos de ferro fundido [26] [34] [60]

<b>Ferro fundido (FF)</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Geralmente, os tubos são comercializados em varas de 3 metros;</li><li>- As tubagens resistem a temperaturas na ordem dos 95 °C em funcionamento por picos;</li><li>- Os tubos apresentam uma tonalidade exterior vermelha, sendo que poderão ser submetidos a pinturas.</li></ul>
<b>União</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- A união entre tubagens e acessórios pode ser executada através de ligações com abocardamento ou sem abocardamento.</li></ul>

<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reciclável;</li> <li>- Elevada resistência à abrasão;</li> <li>- Expansão térmica reduzida;</li> <li>- Isolamento acústico razoável;</li> <li>- Elevada durabilidade.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mão-de-obra especializada;</li> <li>- Custo elevado;</li> <li>- Peso elevado;</li> <li>- Difícil manuseamento e transporte.</li> </ul>

A ligação com abocardamento é executada através da união de junta rápida, a qual é dotada de um anel de borracha colocado no abocardamento, de modo a garantir a estanquidade na zona de ligação [34]. A ligação sem abocardamento entre elementos é efetuada pela união topo a topo das peças, seguido da fixação com recurso a abraçadeiras metálicas [34].

#### **5.2.2.2. Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U)**

O PVC-U, exposto na Figura 104, é o material termoplástico mais utilizado nas redes prediais de drenagem de águas residuais, possivelmente devido a algumas vantagens mencionadas no Quadro 15.

O PVC advém da polimerização do monómero cloreto de vinilo. No mercado existem vários tipos de PVC que se diferenciam pelo seu peso molecular e pelo processo de fabrico.



Figura 104- Tubos de PVC-U [26].

Quadro 15- Quadro síntese dos tubos de PVC-U [34] [59].

<b>Policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U)</b>	
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As tubagens são comercializadas em varas de 3, 6 e 12 metros;</li> <li>- As tubagens de PVC-U apresentam uma cor cinza.</li> </ul>
<b>Uniões / Ligações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A ligação entre tubos e acessórios pode ser executada com abocardamento para colagem (Figura 105) ou com abocardamento munido de um anel de estanquidade.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa rugosidade;</li> <li>- Elevada flexibilidade;</li> <li>- Elevada leveza;</li> <li>- Baixo custo;</li> <li>- Elevada resistência a incrustações.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixa resistência mecânica;</li> <li>- Vida útil relativamente baixa;</li> <li>- Baixa estabilidade dimensional;</li> <li>- Baixa resistência à pressão;</li> <li>- Baixa resistência a elevadas temperaturas;</li> <li>- Elevado coeficiente de dilatação térmica.</li> </ul>



Figura 105- Ligação entre tubos executada com abocardamento para colagem [32].

### 5.2.2.3. Polietileno de alta densidade (PEAD)

As características dos tubos de polietileno de alta densidade já foram abordadas anteriormente, no subcapítulo 5.2.1, sendo desnecessário novamente as repetir.

O PEAD é um material exemplar do ponto de vista ecológico uma vez que, aquando o seu processo de fabrico consome menor quantidade de energia em comparação com outras tubagens que se encontram no mercado atual [55].

As tubagens de polietileno de alta densidade podem constituir uma estrutura isenta de ramificações [63].

A tonalidade destes tubos é habitualmente preta e, geralmente, com riscas longitudinais (Figura 106). Os tubos para drenagem residual em PEAD são comercializados em varas de 5 metros [55].

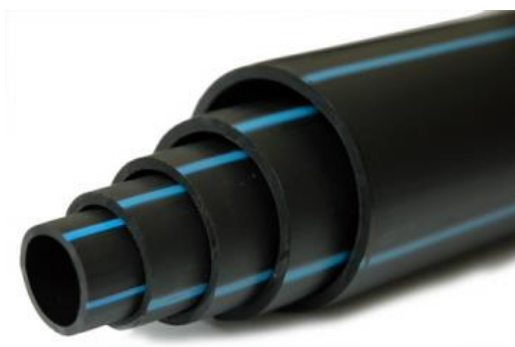


Figura 106- Tubos de PEAD [54].

A ligação dos tubos pode ser feita através de diversos processos, designadamente por soldadura topo a topo com ou sem material de adição, eletrossoldadura, soldadura com manga auxiliar ou com acessórios mecânicos, de material plástico ou metálico (Figura 107) [55].



Figura 107- Acessórios de PEAD [55]

#### **5.2.2.4. Polipropileno (PP)**

As características dos tubos de polipropileno já foram abordadas anteriormente, no subcapítulo 5.2.1, sendo desnecessário novamente as repetir.

As tubagens de polipropileno que devem ser utilizadas nos sistemas prediais de drenagem de água, segundo a normalização em vigor, devem possuir a marcação "B" ou "BD" [64].

Os tubos e acessórios de polipropileno devem apresentar superfícies sem quaisquer imperfeições que possam interferir no correto desempenho das canalizações [64].

As tubagens de PP possuem, geralmente, uma cor cinza, preta ou branca e são comercializadas em varas de 5 metros (Figura 108).

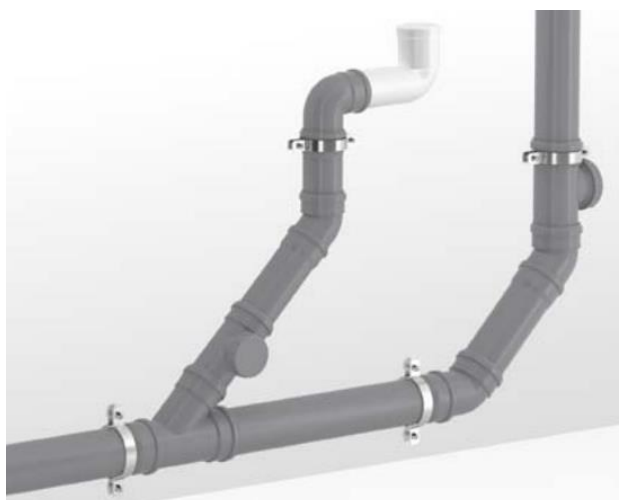


Figura 108- Malha linear em tubagem de PP [32].

O tipo de ligações possível em tubagens e acessórios de polipropileno são semelhantes às uniões abordadas anteriormente, nas tubagens termoplásticas de drenagem residual (Figura 109).



Figura 109- Acessórios em PP [32].

#### 5.2.2.5. Tubagens “insonorizadas”

Na procura do conforto acústico nos edifícios, satisfazendo o Regulamento dos Requisitos Acústicos nos Edifícios (RRAE), as empresas ligadas ao sector das instalações prediais estão constantemente a desenvolver soluções inovadoras e eficientes que visam responder às necessidades dos cidadãos. Desta forma surgem no mercado as tubagens “insonorizadas” (Figura 110), com características acústicas melhoradas face às tubagens convencionais.

O impacto constante da água nas paredes das tubagens que constituem as redes de drenagem residual produzem, normalmente, ruídos e consequentes vibrações que se propagam aos sistemas de fixação e aos elementos estruturais. A transmissão do ruído nas tubagens depende das propriedades intrínsecas do material ou materiais que as constituem assim como as características dimensionais, como por exemplo, a espessura [25] [32].

É importante referir que, quanto às características dimensionais, este tipo de tubagens são semelhantes às tubagens termoplásticas, abordadas anteriormente neste subcapítulo, à exceção da espessura.

Atualmente, a gama de tubagens “insonorizadas” presentes no mercado apresenta-se ainda numa forma não generalizada, sendo suposto uma maior utilização ao longo dos próximos anos.



Figura 110- Tubagens e acessórios “insonorizados” [32].

Os tubos “insonorizados” são considerados, do ponto de vista técnico, uma ótima solução para os sistemas prediais de drenagem de águas residuais. Estas tubagens, geralmente, são compostas por uma estrutura de três camadas de polipropileno de densidades diferentes. É possível encontrar no mercado este tipo de tubos com umas nervuras para redução de ruídos, como se verifica na Figura 111. Assim como as tubagens anteriormente abordadas, estas devem ser testadas laboratorialmente, ficando comprovado que suportam a agressividade dos líquidos e que são estanques à água e ao ar [25] [55].



Figura 111- Tubagem e acessórios “insonorizados” com nervuras [55].



### **5.3. Dimensionamento do sistema hidráulico presente no módulo sanitário**

#### **5.3.1. Introdução**

O presente capítulo sintetiza as regras gerais e as metodologias de dimensionamento das redes de distribuição de água quente e fria e de drenagem de águas residuais domésticas.

A conceção do traçado das tubagens, os equipamentos sanitários a utilizar, as possíveis disposições do módulo e a sua versatilidade já foram abordados no subcapítulo 5.1.

O dimensionamento das redes hidráulicas domésticas deve ter em conta a otimização do seu desempenho funcional. Deste modo, o presente capítulo equipara a aplicação de diferentes métodos de dimensionamento, ou seja, de acordo com o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), com a Norma Europeia EN 806-3 e com o futuro Regulamento Português para o dimensionamento da rede de distribuição de água e de acordo com o RGSPDADAR, com a EN 12056-2 e com o futuro Regulamento Português para o dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais domésticas. Geralmente, o dimensionamento de sistemas hidráulicos é baseado na regulamentação vigente, sendo a nível nacional o RGSPDADAR [66] que serve de referência ao dimensionamento das redes. Afonso (2007) [70] considera que a EN 806 deveria ser adotada como Norma Portuguesa (NP) de modo a evitar desacordos com o RGSPDADAR [66], gerando uma uniformidade nos projetos hidráulicos concebidos em Portugal.

Os métodos de cálculo serão posteriormente abordados de forma sintetizada para a rede hidráulica associada aos aparelhos sanitários contidos no módulo. Serão analisadas primeiramente as formas de dimensionamento da rede de distribuição de água para o modelo apresentado na Figura 79 e valores associados às diferentes canalizações. É ainda de salientar que os diâmetros comerciais que serão utilizados referem-se à tubagem multicamada de uma gama comercializada em Portugal [32]. Quanto ao dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais, com o traçado ilustrado na Figura 80, será analisado da mesma forma que o das redes de abastecimento de água. As tubagens consideradas para o dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais domésticas são do tipo multicamada e “insonorizado” [32].

Nos seguintes pontos são descritos, de forma sintetizada, os passos de dimensionamento das redes hidráulicas que o módulo sanitário possui e o respetivo dimensionamento para as soluções adotadas quanto ao traçado das redes anteriormente ilustradas.

### **5.3.2. Dimensionamento da rede de distribuição de água quente e fria**

#### **5.3.2.1. Regulamento Geral Português - RGSPPDADAR**

O RGSPPDADAR é composto por 7 títulos [66], sendo que para o presente subcapítulo e dimensionamento do sistema de abastecimento de água no módulo sanitário será apenas necessário uma análise aprofundada do título III, onde figura os regulamentos gerais para os sistemas de distribuição predial de água. Quanto ao dimensionamento, o RGSPPDADAR no título III refere os elementos de base a considerar no cálculo das redes de distribuição predial, indica os caudais mínimos a prever nos dispositivos, as formas de determinação do caudal de cálculo e estabelece limites quanto às pressões e velocidades.

O caudal de cálculo é determinado através dos caudais instantâneos a assegurar nos aparelhos sanitários do módulo, sendo eles o chuveiro, o lavatório e o autoclismo. Segundo o Regulamento, os caudais mínimos a considerar, nos três dispositivos de utilização que compõem o módulo sanitário, estão apresentados no Quadro 16.

Quadro 16- Caudais mínimos expressos em l/s dos aparelhos sanitários presentes no módulo sanitário [66]

<b>Aparelho sanitário</b>	<b>Caudais mínimos (l/s)</b>
Lavatório individual	0,10
Chuveiro individual	0,15
Autoclismo de bacia de retrete	0,10

O caudal acumulado é obtido a partir da soma dos caudais mínimos dos respetivos aparelhos existentes na rede hidráulica, consoante as suas disposições. Sabendo o caudal acumulado, este será retificado através de um coeficiente de simultaneidade que tem em conta a probabilidade de funcionamento simultâneo dos aparelhos sanitários instalados.

Assim, o coeficiente de simultaneidade ( $k$ ) num dado troço é a relação entre o caudal de cálculo e o caudal acumulado de todos os equipamentos sanitários de utilização alimentados por uma determinada secção ( $Q_a$ ).

$$Q_c = k \cdot Q_a \quad (1)$$

Quanto ao coeficiente de simultaneidade, existem vários métodos que podem ser adotados para a obtenção deste fator. Logo, o coeficiente de simultaneidade pode ser obtido através de métodos probabilísticos, gráficos, empíricos e também através de métodos que recorrem ao conceito de atribuição de pesos. Neste caso foi adotado o método de Delebecque, método assumido pelo Regulamento para a determinação do caudal de cálculo, sendo apenas aplicável para troços com mais de dois aparelhos sanitários. O método de Delebecque é um método gráfico que permite a conversão dos caudais acumulados em caudais de cálculo através de 3 curvas que variam conforme os valores do caudal acumulado considerado, em que cada uma representa um nível de conforto e exigência desejado no dimensionamento (conforto mínimo, conforto normal e conforto máximo) [67]. O gráfico exposto na Figura 112 apresenta as curvas referentes ao conforto normal. As equações associadas às curvas, expressas em (2), traduzem o comportamento das mesmas com uma percentagem de certeza superior a 99%. Sendo assim, para as exigências regulamentares serem cumpridas, o cálculo do caudal de dimensionamento da rede de distribuição presente no módulo é efetuado através das seguintes expressões para um conforto normal:

$$\begin{aligned} Q_c &= 0,5469 \cdot Q_a^{0,5137} & Q_a &\leq 3,5 \text{ l/s} \\ Q_c &= 0,5226 \cdot Q_a^{0,5364} & 3,5 < Q_a &\leq 25 \text{ l/s} \\ Q_c &= 0,2525 \cdot Q_a^{0,7587} & Q_a &> 25 \text{ l/s} \end{aligned} \quad (2)$$

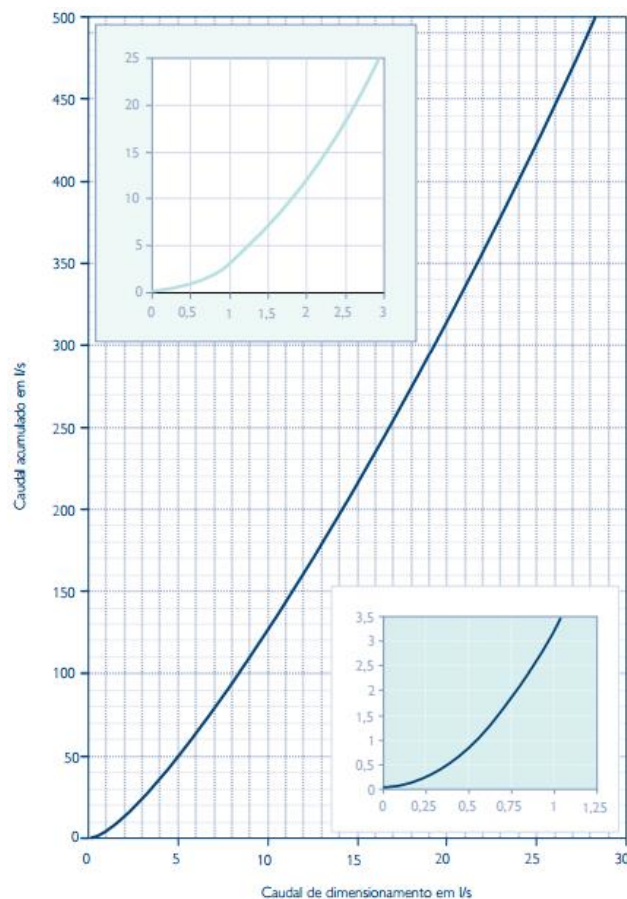


Figura 112 - Curvas de dimensionamento do RGSPDADAR para o conforto normal (Método Delebecque) [67]

O dimensionamento da tubagem efetua-se com recurso à Equação da Continuidade (3), onde o diâmetro mínimo a utilizar depende do caudal de cálculo obtido anteriormente e da velocidade do escoamento pretendido.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot v}} \quad (3)$$

A velocidade deve estar compreendida entre os 0,5 m/s e os 2 m/s como estabelece o RGSPDADAR [66].

#### 5.3.2.2. Norma Europeia - EN 806-3

A Norma Europeia EN806 "Especificações técnicas relativas às instalações de água para consumo humano no interior de edifícios" [68] é constituída por 5 partes sendo que, para este tópico, será apenas abordada a parte 3, referente ao procedimento de dimensionamento das instalações de abastecimento de água em edifícios. Esta parte da norma propõe

igualmente um método simplificado para o dimensionamento das redes prediais de água, adequável a instalações correntes, o qual não será considerado no presente estudo, devido ao facto de conduzir a resultados inferiores aos obtidos pelo Regulamento e pelo outro método descrito na EN 806-3.

A Norma Europeia impõe várias características em prol de um bom funcionamento das redes hidráulicas. A característica mais importante para o presente caso de estudo é a velocidade máxima de escoamento imposta nos ramais de 2 m/s [24].

Assim como no Regulamento Português, a Norma Europeia permite determinar o caudal de cálculo através dos caudais mínimos instantâneos atribuídos a cada equipamento sanitário. O Quadro 17 indica os valores dos caudais ( $Q_a$ ) associados aos aparelhos sanitários que compõem o módulo, valores que são ligeiramente diferentes dos propostos no Regulamento Português. No mesmo quadro estão também representados os caudais mínimos instantâneos ( $Q_{min}$ ) definidos pela norma para cada dispositivo. A EN806-3 exprime os caudais de projeto em “unidades de carga” (LU), sendo 1 LU equivalente a 0,1 l/s [24].

Quadro 17- Caudais instantâneos associados aos aparelhos sanitários presentes no módulo de acordo com a EN806-3 [68]

<b>Aparelho sanitário</b>	<b><math>Q_a</math> (l/s)</b>	<b><math>Q_{min}</math> (l/s)</b>	<b>Unidades de carga (LU)</b>
Lavatório individual	0,10	0,10	1
Chuveiro individual	0,20	0,15	2
Autoclismo de bacia de retrete	0,10	0,10	1

O processo de cálculo inicia-se a partir do ponto de consumo mais afastado da entrada de água na rede hidráulica (ponto a montante da rede), prosseguindo-se a determinação das unidades de carga (LU) nos diversos pontos da rede. O caudal de cálculo é determinado através de retas interseçadas no gráfico apresentado na Figura 113, consoante o dimensionamento em causa. Ou seja, sabendo o número de LUs requeridos pela rede até a um certo ponto e o valor individual máximo de unidade de carga, é possível obter o caudal de cálculo através do gráfico ilustrado na Figura 113.

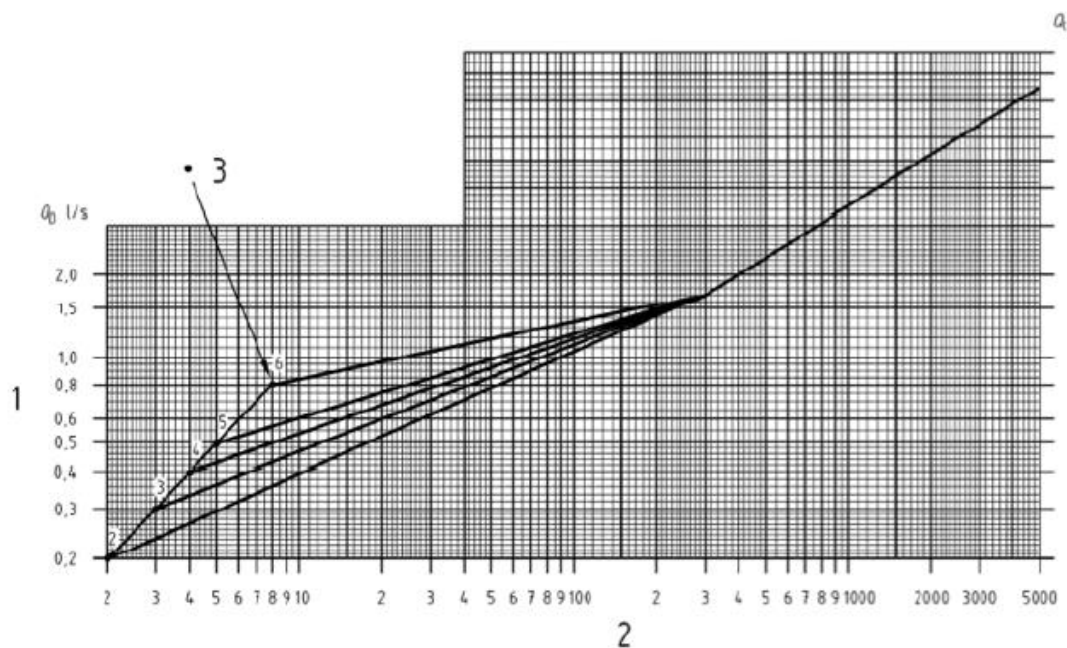


Figura 113- Gráfico para determinação do caudal de cálculo [68]

Na Figura 113, o eixo representado pelo número 1 exibe o caudal de cálculo pretendido, o eixo 2 apresenta o somatório das unidades de carga e o eixo 3 expõe os vários pontos associados ao LU individual máximo [24].

#### 5.3.2.3. *Futuro Regulamento Predial Português*

Tendo o atual Regulamento Português sido publicado há mais de 20 anos, no Decreto Regulamentar nº 23/95, de 8 de agosto, encontra-se atualmente em fase de revisão e atualização por parte de uma comissão técnica especializada com o objetivo de daí resultar o futuro Regulamento Geral dos Sistemas Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem. Neste sentido, as considerações presentes nesta dissertação estão consoante a versão de trabalho da referida comissão técnica datada em 23 de novembro de 2016.

O futuro Regulamento Predial Português possui uma marcha de cálculo, quanto ao dimensionamento das redes de abastecimento, semelhante à do RGSPPDADAR.

O caudal de cálculo é obtido através dos caudais instantâneos correspondentes a cada aparelho sanitário presente no módulo. Os caudais mínimos respeitantes ao futuro Regulamento Português, apresentados no Quadro 18, diferem dos valores referidos no RGSPPDADAR.

Quadro 18- Caudais mínimos expressos em l/s dos aparelhos sanitários presentes no módulo sanitário segundo o Futuro Regulamento Português

Aparelho sanitário	Caudais mínimos (l/s)
Lavatório individual	0,07
Chuveiro individual	0,15
Autoclismo de bacia de retrete	0,13

Os caudais acumulados na rede de distribuição de água fria e de água quente devem basear-se na soma dos caudais instantâneos atribuídos aos aparelhos sanitários, consoante as suas disposições. Segundo o futuro Regulamento Português, o caudal de cálculo ( $Q_c$ ) pode ser determinado pela expressão seguinte, tendo em conta que, só é aplicável em troços hidráulicos que abasteçam mais do que dois aparelhos sanitários.

$$Q_c = 0,55 \cdot Q_a^{0,52} \quad (4)$$

Com os caudais de cálculo obtidos através da expressão (4), calculam-se os diâmetros de cálculo com recurso à Equação da Continuidade. Posteriormente, escolhe-se o diâmetro comercial que verifique os valores dos caudais de cálculo e velocidades regulamentares. A velocidade de cálculo ( $U_c$ ) deve situar-se entre 0,5 m/s e 2,0 m/s, não ultrapassando o limite máximo dado pela expressão abaixo indicada:

$$U_c = 0,16 \cdot D_i^{0,714} \quad (5)$$

#### 5.3.2.4. *Análise de resultados entre os diferentes métodos de dimensionamento*

O dimensionamento da rede de abastecimento presente no módulo sanitário realizou-se seguindo os três métodos anteriormente abordados. No Quadro 19 é apresentada a gama de diâmetros da tubagem considerada no presente estudo.

Quadro 19- Diâmetros comerciais e respectivas características [adaptado de 32]

Diâmetro exterior (mm)	Espessura do tubo (mm)	Diâmetro interior (mm)
16	2	12
20	2	16
26	3	20
32	3	26
40	3,5	33
50	4	42
63	4,5	54

A posterior análise e comparação dos valores de dimensionamento referem-se à rede de distribuição de água quente e fria. Os Quadros 20 e 21 apresentam os troços de distribuição de água fria e quente, respetivamente, entre os aparelhos sanitários, numerados no sentido inverso ao fluxo de água, ou seja, no sentido do ponto a jusante da rede de distribuição (chuveiro) para o ponto a montante (ponto de entrada da água na rede). Dado que o autoclismo não é abastecido com água quente, a rede de distribuição de água quente possui apenas dois troços, como se verifica no Quadro 21.

Quadro 20- Traçado da rede de distribuição de água fria

Rede de distribuição - Água Fria	
Troço 1	Chuveiro → Lavatório
Troço 2	Lavatório → Autoclismo
Troço 3	Autoclismo → Início

Quadro 21- Traçado da rede de distribuição de água quente

Rede de distribuição - Água Quente	
Troço 1	Chuveiro → Lavatório
Troço 2	Lavatório → Início

De acordo com o atual Regulamento Português, o dimensionamento da rede de abastecimento de água efetua-se a partir dos caudais acumulados, relativos a cada aparelho sanitário, indicados no Quadro 16. Dado que o método de Delebecque é apenas aplicável a



troços que possuam mais de dois aparelhos sanitários, sendo neste caso o troço 3, os troços 1 e 2 apresentam valores de caudais de cálculo iguais aos caudais acumulados. Ou seja, apenas o caudal de cálculo do troço 3 é obtido através das equações (2), derivadas do gráfico associado ao método de Delebecque, representado na Figura 112. O diâmetro interno é obtido assumindo que a velocidade na expressão (3) não ultrapassa os 2 m/s. É importante mencionar que dos três níveis de conforto, considerou-se o dimensionamento para o nível de conforto normal. Através do Quadro 22 retiram-se, tendo em conta a velocidade máxima e o caudal admissível, os diâmetros comerciais.

Quadro 22- Diâmetros comerciais e respetivas características consoante o Regulamento Português e a EN 806-3

<b>Diâmetro exterior (mm)</b>	<b>Diâmetro interior (mm)</b>	<b>Velocidade máxima (m/s)</b>	<b>Caudal máximo (l/s)</b>
<b>16</b>	12	2,00	0,23
<b>20</b>	16	2,00	0,40
<b>26</b>	20	2,00	0,63
<b>32</b>	26	2,00	1,06
<b>40</b>	33	2,00	1,71
<b>50</b>	42	2,00	2,77
<b>63</b>	54	2,00	4,58

Com base na EN806-3, o dimensionamento foi feito através das tabelas e ábacos presentes na norma. Neste âmbito, o dimensionamento inicia-se com a correspondência das unidades de carga (LU) aos respetivos aparelhos sanitários, conforme representado no Quadro 17. Procede-se então ao somatório dos LUs, consoante o sentido inverso do fluxo de água, nos troços representados nos Quadros 20 e 21. Com o valor do LU individual máximo e o somatório das unidades de carga, obtém-se a partir do ábaco da Figura 113 o caudal de cálculo. Com este valor retira-se do Quadro 22 o respetivo diâmetro comercial e verifica-se a velocidade.

O método de dimensionamento exposto pelo futuro Regulamento Português é semelhante ao do RGSPDADAR. Sabendo os caudais mínimos dos aparelhos sanitários, apresentados no Quadro 18, obtêm-se através da expressão (4) os respetivos caudais de cálculo. Posteriormente, com recurso à Equação da Continuidade, calculam-se os diâmetros de cálculo e escolhem-se os diâmetros comerciais. Com base nos limites de velocidade

indicados, nos diâmetros comerciais da tubagem escolhida e na Equação da Continuidade, apresenta-se o Quadro 23.

Quadro 23- Diâmetros comerciais e respetivas características consoante o futuro Regulamento Português

<b>Diâmetro exterior (mm)</b>	<b>Diâmetro interior (mm)</b>	<b>Velocidade máxima (m/s)</b>	<b>Caudal máximo (l/s)</b>
<b>16</b>	12	0,94	0,11
<b>20</b>	16	1,16	0,23
<b>26</b>	20	1,36	0,43
<b>32</b>	26	1,64	0,87
<b>40</b>	33	1,94	1,66
<b>50</b>	42	2,00	2,77
<b>63</b>	54	2,00	4,58

Os Quadros 24 a 35 apresentam os valores de cálculo para o dimensionamento através dos três métodos anteriormente referidos. Os passos de cálculo anteriormente indicados, tanto para o Regulamento Português como para a Norma Europeia e para o futuro Regulamento Português, foram seguidos para a obtenção dos valores de dimensionamento apresentados nas seguintes tabelas.

Os Quadros 24, 25, 26, 30, 31 e 32 referem-se ao dimensionamento das tubagens de água fria e quente, respetivamente, que ligam os aparelhos sanitários à rede de abastecimento do módulo. Os diâmetros obtidos pelo Regulamento Português e pela Norma Europeia são iguais para todos os aparelhos sanitários. Segundo o futuro Regulamento Português, o diâmetro calculado para o lavatório é igual ao dos obtidos pelos métodos anteriores e o diâmetro relativo ao chuveiro é superior. O diâmetro calculado para a bacia de retrete é igual ao obtido pelos outros métodos, apenas devido à indicação do ponto nº3 do artigo 30º (de contrário, ao cálculo corresponderia um diâmetro superior). Os Quadros 27, 28, 29 e os Quadros 33, 34, 35 expõem os valores de dimensionamento dos troços entre os aparelhos sanitários, referidos nos Quadros 20 e 21, para a distribuição de água fria e quente, respetivamente. É importante salientar que os diâmetros comerciais obtidos pelo Regulamento Português e pela Norma Europeia são iguais em todos os troços da rede hidráulica. A Figura 114 ilustra a rede de distribuição de água dimensionada pelo Regulamento Português e pela Norma Europeia. Por outro lado, pelo futuro Regulamento Português, o diâmetro calculado para o lavatório é igual ao dos obtidos pelos outros

métodos e o diâmetro calculado para o chuveiro é superior. A Figura 115 representa a rede de distribuição segundo o dimensionamento pelo futuro Regulamento Português.

Quadro 24- Dimensionamento da tubagem de água fria efetuado para o autoclismo, lavatório e chuveiro segundo o RGSPDADAR

Água Fria	RGSPDADAR			
Aparelhos sanitários	Q <sub>a</sub> (l/s)	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Autoclismo	0,10	0,10	16	0,88
Lavatório	0,10	0,10	16	0,88
Chuveiro	0,15	0,15	16	1,33

Quadro 25- Dimensionamento da tubagem de água fria efetuado para o autoclismo, lavatório e chuveiro segundo a EN 806-3

Água Fria	EN 806-3		
Aparelhos sanitários	Q <sub>a</sub> (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Autoclismo	0,10	16	0,88
Lavatório	0,10	16	0,88
Chuveiro	0,20	16	1,77

Quadro 26- Dimensionamento da tubagem de água fria efetuado para o autoclismo, lavatório e chuveiro segundo o futuro Regulamento Português

Água Fria	Futuro Regulamento Português			
Aparelhos sanitários	Q <sub>a</sub> (l/s)	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Autoclismo	0,13	0,13	16	1,15
Lavatório	0,07	0,07	16	0,62
Chuveiro	0,15	0,15	20	0,75

Quadro 27- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água fria segundo o RGSPDADAR

Água Fria	RGSPDADAR			
Troços	Q <sub>a</sub> (l/s)	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Troço 1	0,15	0,15	16	1,33
Troço 2	0,25	0,25	20	1,24
Troço 3	0,35	0,32	20	1,59

Quadro 28- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água fria segundo a EN 806-3

Água Fria	EN 806-3			
Troços	$\Sigma LU$	$Q_c$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Troço 1	2	0,2	16	1,77
Troço 2	3	0,24	20	1,19
Troço 3	4	0,27	20	1,34

Quadro 29- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água fria segundo o futuro Regulamento Português

Água Fria	Futuro Regulamento Português			
Troços	$Q_a$ (l/s)	$Q_c$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Troço 1	0,15	0,15	20	0,75
Troço 2	0,22	0,22	20	1,09
Troço 3	0,35	0,32	26	1,01

Quadro 30- Dimensionamento da tubagem de água quente efetuado para o lavatório e chuveiro segundo o RGSPDADAR

Água Quente	RGSPDADAR			
Aparelhos sanitários	$Q_a$ (l/s)	$Q_c$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Lavatório	0,10	0,10	16	0,88
Chuveiro	0,15	0,15	16	1,33

Quadro 31- Dimensionamento da tubagem de água quente efetuado para o lavatório e chuveiro segundo a EN 806-3

Água Quente	EN 806-3		
Aparelhos sanitários	$Q_a$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Lavatório	0,10	16	0,88
Chuveiro	0,20	16	1,77

Quadro 32- Dimensionamento da tubagem de água quente efetuado para o lavatório e chuveiro segundo o futuro Regulamento Português

Água Quente	Futuro Regulamento Português			
Aparelhos sanitários	$Q_a$ (l/s)	$Q_c$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Lavatório	0,07	0,07	16	0,62
Chuveiro	0,15	0,15	20	0,75

Quadro 33- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água quente segundo o RGSPDADAR

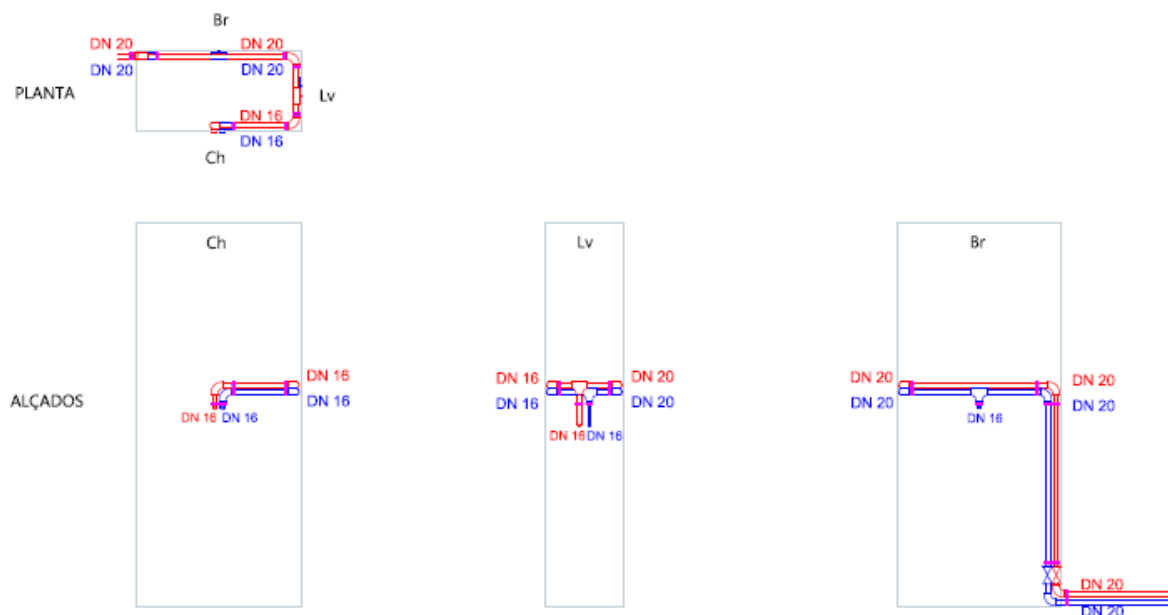
Água Quente	RGSPDADAR			
Troços	$Q_a$ (l/s)	$Q_c$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Troço 1	0,15	0,15	16	1,33
Troço 2	0,25	0,25	20	1,24

Quadro 34- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água quente segundo a EN 806-3

Água Quente	EN 806-3			
Troços	$\Sigma LU$	$Q_c$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Troço 1	2	0,20	16	1,77
Troço 2	3	0,24	20	1,19

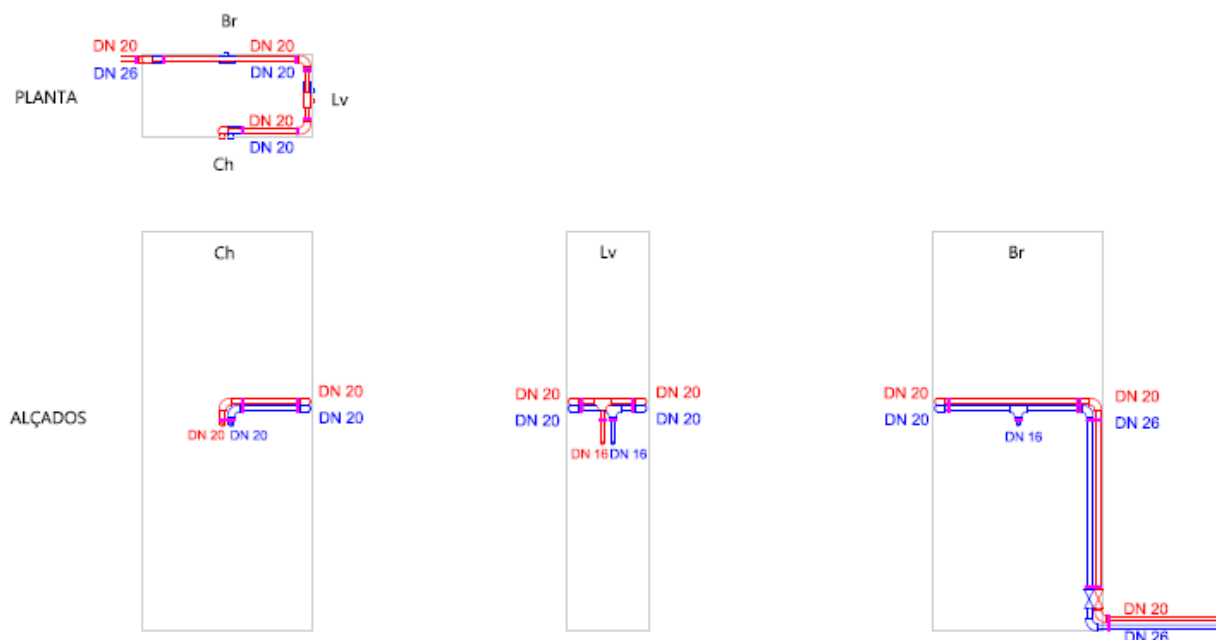
Quadro 35- Resultados obtidos no dimensionamento da rede de água quente segundo o futuro Regulamento Português

Água Quente	Futuro Regulamento Português			
Troços	$Q_a$ (l/s)	$Q_c$ (l/s)	DN (mm)	U (m/s)
Troço 1	0,15	0,15	20	0,75
Troço 2	0,22	0,22	20	1,09



*“Lv” corresponde ao lavatório; “Br” corresponde à bacia de retrete e “Ch” corresponde ao chuveiro*

Figura 114- Planta e alçados da rede de abastecimento de água presente no módulo, segundo o RGSPDADAR e a EN 806-3.



*“Lv” corresponde ao lavatório; “Br” corresponde à bacia de retrete e “Ch” corresponde ao chuveiro*

Figura 115- Planta e alçados da rede de abastecimento de água presente no módulo, segundo o futuro Regulamento Português

### 5.3.3. Dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais domésticas

#### 5.3.3.1. Regulamento Geral Português - RGSPDADAR

O RGSPDADAR é organizado por 7 títulos como já fora referido [66]. Para o estudo do dimensionamento dos sistemas prediais de drenagem de águas residuais domésticas aborda-se apenas o título V que refere as regras de dimensionamento de cada constituinte da rede de drenagem assim como os respetivos caudais de descarga e de cálculo. Os caudais de descarga são os caudais descarregados pelos dispositivos sanitários para as redes prediais de drenagem [34]. O Regulamento Português considera como caudais mínimos de descarga nos aparelhos sanitários, os valores indicados no Quadro 36.

Quadro 36- Caudais mínimos de descarga, expressos em l/min, dos aparelhos sanitários presentes no módulo [66]

Aparelhos sanitários	Caudal de descarga (l/min)
Lavatório	30
Chuveiro	30
Bacia de retrete	90

Os ramais de descarga individuais relativos aos aparelhos sanitários são dimensionados tendo em conta os caudais apresentados no Quadro 36. Segundo a fórmula de Manning – Strickler (6), considerando um escoamento a secção cheia, obtém-se o diâmetro interno. É necessário ter em primordial atenção os caudais de cálculo, inclinações mínimas e máximas de 10mm/m e 40mm/m, respetivamente, e rugosidade do material da tubagem [66]. Posteriormente, realiza-se uma compatibilização com os diâmetros comerciais.

$$D = \frac{Q^{3/8}}{0,6459 \cdot K^{3/8} \cdot i^{3/16}} \quad (6)$$

O Quadro 37 apresenta os diâmetros nominais mínimos admissíveis para os respetivos ramais de descarga individuais dos dispositivos sanitários constituintes do módulo.

Quadro 37- Diâmetros mínimos dos ramais de descarga individuais presentes no módulo [66]

<b>Aparelhos sanitários</b>	<b>Diâmetro mínimo do ramal de descarga (mm)</b>
Lavatório	40
Chuveiro	40
Bacia de retrete	90

O caudal de cálculo a considerar no dimensionamento do ramal de descarga coletivo advém do somatório dos caudais de descarga associados aos dispositivos sanitários (caudais acumulados) [66]. Assim como no dimensionamento da rede de abastecimento de água, é tido em conta o facto de nem todos os equipamentos sanitários da mesma rede serem utilizados em simultâneo. Deste modo, o caudal acumulado associado aos aparelhos constituintes da rede é afetado por um coeficiente de simultaneidade ( $k$ ), obtendo-se assim o caudal de cálculo através da expressão idêntica à equação (1).

O coeficiente de simultaneidade pode ser obtido de várias formas, como já se referiu anteriormente. O método preconizado pelo Regulamento Português é um método gráfico que admite a determinação do caudal de dimensionamento a partir do caudal acumulado. A Figura 116 apresenta o gráfico utilizado, associado a uma fórmula de cálculo aproximada expressa em l/ min. Importa referir que esta fórmula deverá apenas ser utilizada quando os valores do caudal de cálculo obtidos forem inferiores ou iguais ao caudal acumulado.



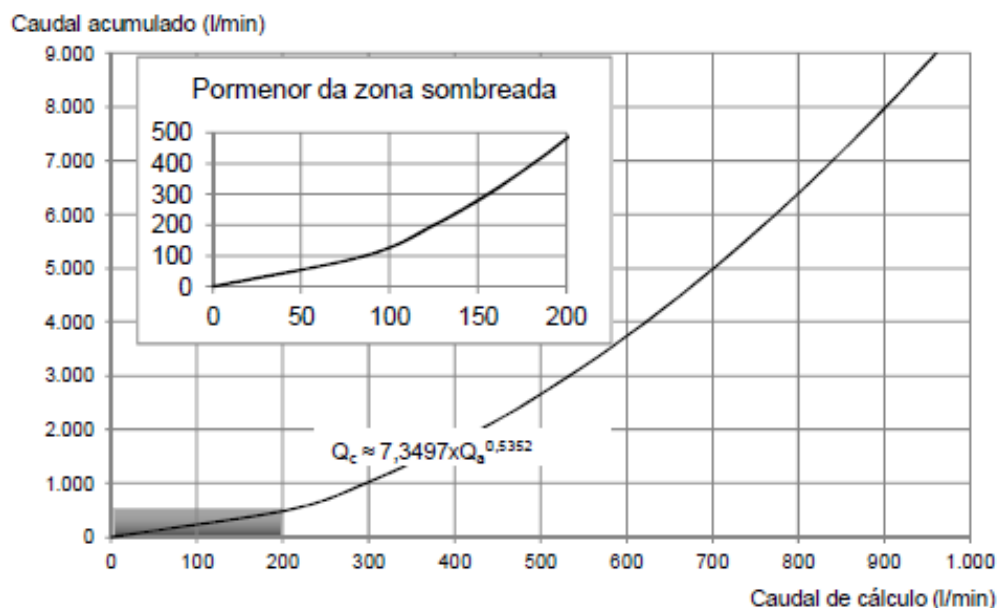


Figura 116- Determinação dos caudais de cálculo de águas residuais domésticas em função dos caudais acumulados [66]

Com o caudal de cálculo relativo à convergência dos três ramais de descarga individuais, para um escoamento a  $\frac{1}{2}$  secção, calcula-se o diâmetro do ramal de drenagem coletivo através da expressão (7). É importante referir que o diâmetro do ramal coletivo deve ser igual ou superior ao maior ramal que nele converge.

$$D = \frac{Q^{3/8}}{0,498 \cdot K^{3/8} \cdot i^{3/16}} \quad (7)$$

O Regulamento Português [66] refere que o diâmetro dos tubos de queda deve ser constante em todo o seu desenvolvimento e nunca inferior ao maior diâmetro dos ramais que nele convergem, estabelecendo um mínimo de 50 mm [66].

Nos tubos de queda, a ventilação é condicionada pela taxa de ocupação. Essa taxa depende essencialmente do diâmetro dos tubos de queda, sendo de  $\frac{1}{3}$  para tubos de queda com ventilação secundária e de  $\frac{1}{7}$  a  $\frac{1}{3}$  para tubos de queda sem ventilação secundária, conforme refere o Quadro 38.

Quadro 38- Caudais, diâmetros dos tubos de queda e taxas de ocupação [66]

Caudal de cálculo (l/min)	Diâmetro do tubo de queda (mm)	Taxa de ocupação ( $t_s$ )
$Q \leq 125$	$D = 50$	1/3
$125 < Q \leq 187,5$	$50 < D \leq 75$	1/4
$187,5 < Q \leq 250$	$75 < D \leq 100$	1/5
$250 < Q \leq 312,5$	$100 < D \leq 125$	1/6
$Q > 312,5$	$D > 125$	1/7

Sempre que a altura de um tubo de queda seja superior a 35 m e o caudal de cálculo maior que 700 l/min é obrigatório a instalação de colunas de ventilação.

O Regulamento Português considera a seguinte expressão para o cálculo do diâmetro dos tubos de queda:

$$D = 4,4205 \cdot Q^{\frac{3}{8}} \cdot t_s^{\frac{-5}{8}} \quad (8)$$

### 5.3.3.2. Norma Europeia - EN 12056-2 e futuro Regulamento Português

A marcha de cálculo para o dimensionamento da rede de drenagem de águas residuais domésticas segundo a Norma Europeia EN 12056-2 é igual à utilizada pelo futuro Regulamento Português.

A Norma Europeia EN 12056 [69], referente aos sistemas prediais de drenagem com escoamento gravítico, é composta por 5 partes sendo que, para o presente estudo aborda-se apenas a parte 2, EN 12056-2, que se destina somente à conceção e dimensionamento das redes prediais de drenagem de águas residuais domésticas.

A EN 12056-2 menciona quatro tipos de sistemas, de configurações diferentes em relação à ventilação do tubo de queda e dos ramais [24]:

- Sistema I: Sistema com um único tubo de queda, com escoamento a meia secção nos ramais de descarga;

- Sistema II: Sistema com um único tubo de queda, com altura da lâmina líquida até 0,7 do diâmetro nos ramais de descarga;
- Sistema III: Sistema com um único tubo de queda, com escoamento a secção cheia nos ramais de descarga e ligação individual de cada ramal ao tubo de queda;
- Sistema IV: Sistema separativo dos tipos I, II e III em que as águas negras, provenientes das bacias de retrete e urinóis, seguem em tubagens separadas das águas cinzentas.

Tendo em conta estes sistemas, é possível concluir que cada sistema pode ter muitas configurações executáveis, sendo importante, em qualquer solução, controlar a pressão de forma a evitar a redução do fecho hídrico.

Quanto à ventilação dos tubos de queda, a Norma Europeia propõe duas possíveis configurações: sistema com ventilação primária e sistema com ventilação secundária. O sistema com ventilação primária caracteriza-se pelo prolongamento do tubo de queda até à atmosfera ou pela utilização de válvulas de admissão de ar na extremidade superior. Já no sistema com ventilação secundária o controlo das pressões é assegurado por colunas de ventilação e em alternativa por válvulas de admissão de ar.

Em relação à ventilação dos ramais de descarga é possível realizar ramais não ventilados, do qual o controlo de pressões é efetuado através do fluxo de ar existente no próprio ramal, e ramais ventilados onde o controlo de pressões é obtido por ramais de ventilação ou através de válvulas de admissão de ar.

As regras gerais da EN 12056-2 são semelhantes às do RGSPDADAR, tal como por exemplo o facto de ser desaconselhável a redução do diâmetro nominal dos tubos de descarga na direção do escoamento [24].

A Norma Europeia atribui unidades de descarga, *Discharge Units* (DU), as quais correspondem a valores médios de cálculo do caudal de descarga, em l/s, aos dispositivos sanitários e tomam os valores apresentados no Quadro 39 conforme o tipo de sistema adotado. O Quadro 39 apresenta apenas os valores referentes aos aparelhos sanitários presentes no módulo para o sistema I.

Quadro 39- Caudais de descarga dos aparelhos sanitários presentes no módulo em "Unidades de Descarga" adaptado, DU (Sistema I) [24].

<b>Aparelhos sanitários</b>	<b>DU - Sistema I (l/s)</b>	<b>Caudais de descarga - Regulamento Geral (l/s)</b>
Lavatório	0,5	0,5
Chuveiro	0,8	0,5
Bacia de retrete com cisterna (6 l)	2,0	1,5

O caudal total de cálculo, em qualquer secção do sistema de drenagem, é determinado pela seguinte expressão:

$$Q_{tot} = Q_{esg} + Q_{cont} + Q_{bomb} \quad (9)$$

Entende-se por  $Q_{tot}$  o caudal total de cálculo,  $Q_{esg}$  o caudal de águas residuais domésticas,  $Q_{cont}$  os caudais contínuos e  $Q_{bomb}$  os caudais de bombagem, estando todos os caudais referidos expressos em l/s.

O caudal de águas residuais domésticas,  $Q_{esg}$ , é obtido pela multiplicação do fator de frequência (K) com o somatório das unidades de descarga ( $\Sigma DU$ ), de acordo com a expressão (10) [24]. O fator de frequência é um coeficiente relacionado com o tipo de utilização dos dispositivos sanitários, como está explícito no Quadro 40.

$$Q_{esg} = K \cdot \sqrt{\Sigma DU} \quad (10)$$

Quadro 40- Valores típicos do fator de frequência [24]

<b>Tipo de utilização</b>	<b>Fator de frequência (K)</b>
Usos “intermitentes” (residências, pensões, escritórios, etc.)	0,5
Usos “frequentes” (hospitais, escolas, restaurantes, hotéis, etc.)	0,7
Usos “congestionados” (sanitários e chuveiros públicos, etc.)	1,0
Usos especiais (laboratórios, etc.)	1,2

É importante salientar que a capacidade das tubagens deve satisfazer o transporte de um caudal máximo ( $Q_{\text{máx}}$ ) maior que o caudal total de cálculo ( $Q_{\text{tot}}$ ) ou que o maior valor de unidade de descarga dos aparelhos sanitários associados.

A EN 12056-2 [69] faculta tabelas com diâmetros a adotar consoante o tipo de ramal a ser instalado, ou seja, para ramais não ventilados ou para ramais ventilados. Para ambos os casos são impostas limitações quanto ao traçado dos respetivos ramais. Caso as limitações propostas para um ramal não ventilado sejam incompatíveis deverá se considerar um sistema com ramais ventilados, sendo igualmente possível a utilização de diâmetros maiores ou de válvulas de admissão de ar.

Uma vez que a rede de drenagem de águas residuais do módulo sanitário será dimensionado conforme as limitações propostas para ramais de descarga não ventilados do sistema I, apenas estas limitações serão aqui apresentadas de modo a simplificar a margem de cálculo a utilizar. Sendo assim, o Quadro 41 fornece os diâmetros nominais para ramais de descarga não ventilados em função da capacidade hidráulica ( $Q_{\text{máx}}$ ) associados ao sistema I. Quanto ao Quadro 42, relacionado com a Figura 117, este menciona as limitações a ter em conta nos ramais não ventilados do sistema I.

Quadro 41- Diâmetros nominais (DN) para ramais de descarga não ventilados em função da capacidade hidráulica ( $Q_{\text{máx}}$ ) [24]

$Q_{\text{máx}}$ (l/s)	Sistema I DN (mm)
0,50	40
0,80	50
1,50	75
2,25	90 <sup>a</sup>
2,50	110

<sup>a</sup> No máximo duas bacias de retrete e uma mudança total de direção não superior a 90°

Quadro 42- Limitações a considerar em ramais não ventilados do sistema I [24]

Limitações	Sistema I
<b>Comprimento máximo do ramal de descarga (L),</b> medido desde o aparelho sanitário até à inserção no tubo de queda	4,00 m
<b>Número máximo de curvas a 90°,</b> não incluindo a primeira curva a seguir ao sifão	3
<b>Altura máxima do troço vertical do ramal (H),</b> com inclinação igual ou superior a 45°	1,00 m
<b>Inclinação mínima</b>	1 %

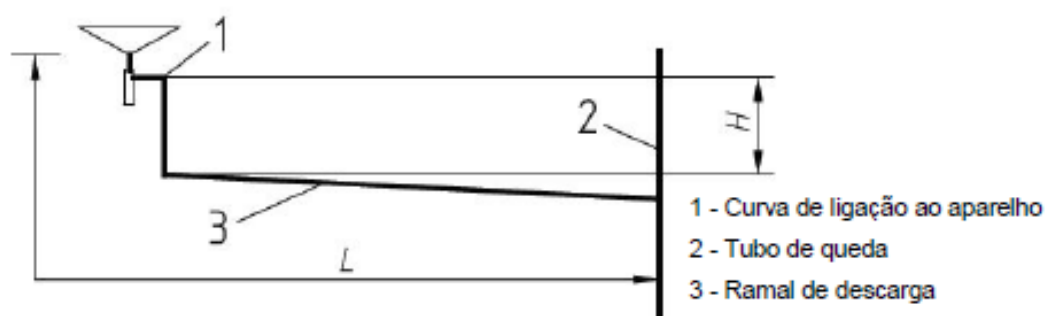


Figura 117- Ramais de descarga não ventilados nos sistemas I, II e IV [69]

Consoante a Norma Europeia, sempre que os ramais de descarga exijam válvulas de admissão de ar, estas devem cumprir os requisitos e devem ser dimensionadas de acordo com o Quadro 43, onde o  $Q_{ar}$  corresponde ao caudal mínimo de ar e o  $Q_{tot}$  ao caudal total de cálculo.

Quadro 43- Caudais mínimos de ar para válvulas de admissão de ar em ramais de descarga [24]

Sistema	$Q_{ar}$ (l/s)
I	$1 \times Q_{tot}$
II	$2 \times Q_{tot}$
III	$2 \times Q_{tot}$
IV	$1 \times Q_{tot}$

Quanto aos tubos de queda, a Norma Europeia fornece os diâmetros e limitações, apresentados no Quadro 44, para os tubos de queda com ventilação primária.

Quadro 44- Caudais máximos ( $Q_{máx}$ ) em tubos de queda com ventilação primária, em função dos respetivos diâmetros nominais [24]

Tubo de queda	$Q_{máx}$ (l/s) - Sistemas I, II, III e IV	
DN (mm)	Ligação com ângulo superior a 45°	Ligação com ângulo igual ou inferior a 45°
75	1,5	2,0
90 <sup>a</sup>	2,7	3,5
110 <sup>b</sup>	4,0	5,2
125	5,8	7,6
160	9,5	12,4
200	16,0	21,0

<sup>a</sup> Diâmetro mínimo quando estão ligadas bacias de retrete no sistema II

<sup>b</sup> Diâmetro mínimo quando estão ligadas bacias de retrete nos sistemas I, III e IV

### 5.3.3.3. *Análise de resultados entre os diferentes métodos de dimensionamento*

A presente análise tem como objetivo comparar os valores obtidos entre os dois métodos de dimensionamento do sistema de drenagem de águas residuais domésticas abordados anteriormente, ou seja, conforme a EN12056-2 / futuro Regulamento Português e o RGSPDADAR.

O material escolhido para a rede de drenagem de águas residuais é um sistema “insonorizado” tricomposto à base de polipropileno e cargas minerais, com os respetivos diâmetros comerciais apresentados no Quadro 45 [32]. Neste âmbito, de modo a comparar os resultados obtidos em ambos os métodos, importa referir que os diâmetros finais que se apresentam ao longo desta análise referem-se aos diâmetros comerciais.

Quadro 45- Diâmetros exteriores e interiores do tubo “insonorizado” [32]

<b>Diâmetro exterior (mm)</b>	<b>Diâmetro interior (mm)</b>
<b>32</b>	30
<b>40</b>	40
<b>50</b>	50
<b>75</b>	70
<b>90</b>	90
<b>110</b>	100
<b>125</b>	125
<b>160</b>	150
<b>200</b>	200
<b>250</b>	250

Consoante o processo de cálculo do RGSPDADAR, os caudais que se obtêm apresentam-se na unidade l/min, sendo posteriormente convertidos em l/s de modo a ser possível compará-los com os valores de caudal resultantes da EN 12056-2.

O Quadro 46 apresenta, para os dois métodos anteriormente abordados, os valores de cálculo e respetivos diâmetros comerciais dos ramais de descarga individuais presentes no módulo sanitário.



Quadro 46- Resultados obtidos no dimensionamento dos ramais de descarga individuais presentes no módulo segundo os dois métodos, RGSPDADAR e EN 12056-2 / futuro Regulamento Português

	RGSPDADAR		EN 12056-2 e futuro Regulamento Português	
Aparelhos sanitários	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)	Unidades de descarga (l/s)	DN (mm)
Lavatório	0,5	40	0,5	40
Bacia de retrete	1,5	90	2,0	90
Chuveiro	0,5	40	0,8	50

Conclui-se que os diâmetros comerciais para os ramais de descarga individuais obtidos em ambos os métodos de dimensionamento são iguais à exceção do chuveiro. Na necessidade da instalação de válvulas de admissão de ar nos ramais de descarga de águas residuais, este equipamento deverá satisfazer o valor obtido no Quadro 43 para o sistema I.

O Quadro 47 apresenta os valores relativos ao ramal de descarga coletivo para os diferentes métodos de dimensionamento.

Quadro 47- Resultados obtidos no dimensionamento do ramal de descarga coletivo presente no módulo segundo os três métodos, RGSPDADAR e EN 12056-2 / futuro Regulamento Português.

	RGSPDADAR			EN 12056-2 e futuro Regulamento Português		
Equipamentos reunidos	Q <sub>a</sub> (l/s)	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)	Q <sub>a</sub> (l/s)	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)
Lv+Br+Ch	2,50	1,79	90	3,30	2	90

“Lv” corresponde ao lavatório; “Br” corresponde à bacia de retrete e “Ch” corresponde ao chuveiro

Quanto ao tubo de queda, de acordo com o RGSPDADAR, o diâmetro nominal obtido é menor que o diâmetro do ramal de descarga do autoclismo e, como referido no Regulamento Português [66]: “O diâmetro nominal dos tubos de queda de águas residuais domésticas não pode ser inferior ao maior dos diâmetros dos ramais a eles ligados, com um mínimo de 50 mm.”, considerou-se um diâmetro de 90 mm (Quadro 48), valor do maior diâmetro que aflui no ramal coletivo.

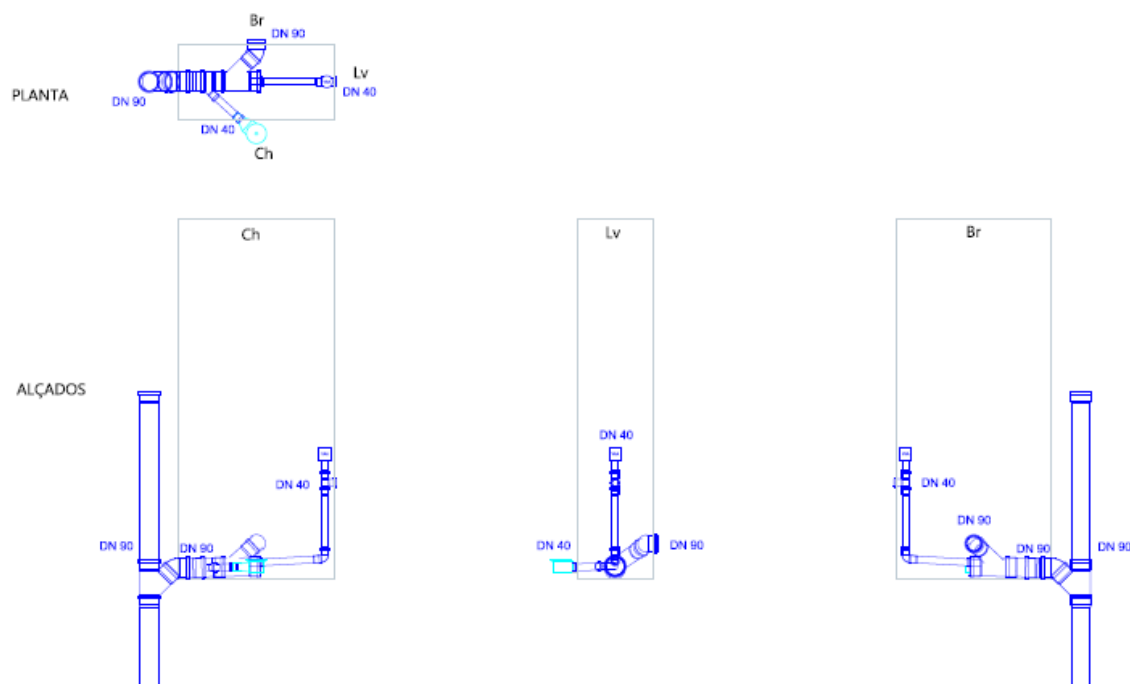
Quanto ao dimensionamento do tubo de queda (Quadro 48), segundo a Norma Europeia, através do somatório das unidades de descarga, presentes na rede de drenagem do módulo sanitário, calculou-se o caudal de cálculo expresso na fórmula (10). Com os valores dos

caudais de cálculo conhecidos recorreu-se ao Quadro 35 e obteve-se o diâmetro para uma ligação com ângulo igual ou inferior a 45° dos ramais de descarga associados.

Quadro 48- Resultados obtidos no dimensionamento do tubo de queda relativo ao módulo segundo os três métodos, RGSPDADAR e EN 12056-2 / futuro Regulamento Português

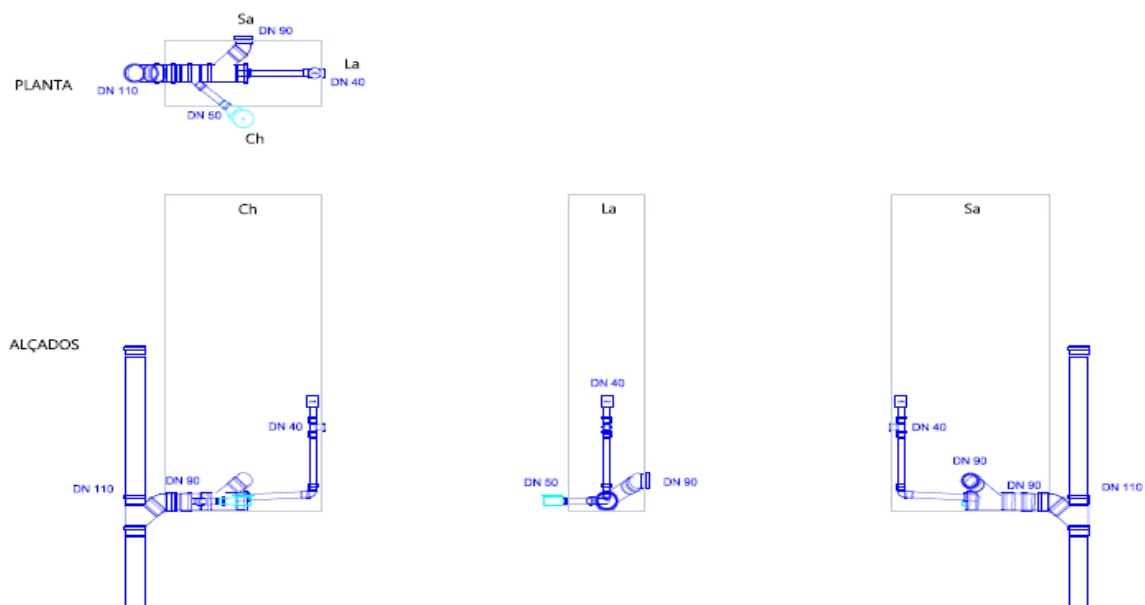
	RGSPDADAR			EN 12056-2 e futuro Regulamento Português		
Equipamentos reunidos	Q <sub>a</sub> (l/s)	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)	Q <sub>a</sub> (l/s)	Q <sub>c</sub> (l/s)	DN (mm)
Tubo de queda	2,50	1,79	90	3,30	2	110

As Figuras 118 e 119 ilustram os ramais de descarga presentes no módulo, com os diâmetros comerciais obtidos pelo RGSPDADAR e EN 12056-2 / futuro Regulamento Português, respetivamente.



“Lv” corresponde ao lavatório; “Br” corresponde à bacia de retrete e “Ch” corresponde ao chuveiro

Figura 118- Planta e alçados da rede de drenagem de águas residuais referentes ao módulo, segundo o RGSPDADAR.



*“Lv” corresponde ao lavatório; “Br” corresponde à bacia de retrete e “Ch” corresponde ao chuveiro*

Figura 119- Planta e alçados da rede de drenagem de águas residuais referentes ao módulo, segundo o EN 12056-2 e o futuro Regulamento Português

## 5.4. Análise económica das diferentes soluções do sistema hidráulico

### 5.4.1. Introdução

A presente análise económica foi efetuada tendo por base os preços atuais no mercado dos materiais exibidos pelos fabricantes e fornecedores certificados. Importa referir que os preços apresentados são inerentes a 2015/2016. Recorreu-se a fabricantes e fornecedores de referência de forma a obter os preços mais fiáveis possíveis. Salienta-se que, de modo a garantir uma comparação entre diferentes materiais com uma mínima margem de erro nos custos, os preços obtidos para a presente análise foram adquiridos com o menor número de fornecedores/fabricantes possíveis. As entidades referidas posteriormente são meramente indicativas.

A presente análise foi efetuada tanto para a rede de distribuição de água como para a rede de drenagem de águas residuais domésticas, tendo como base os modelos dimensionados no subcapítulo anterior. As soluções em estudo foram as mais realistas possíveis das redes hidráulicas que compõem o módulo sanitário, representadas nas Figuras 114 e 119.

A presente análise foi apenas efetuada para os componentes hidráulicos presentes no interior do módulo sanitário, situação real em que o módulo se situa junto a uma parede composta por pontos de abastecimento e drenagem de águas.

Efetuuou-se um estudo económico que considerasse o conjunto de custos mais relevantes para a obtenção de um orçamento final. Neste sentido, estimou-se o preço global dos componentes hidráulicos que compõem a rede hidráulica do módulo sanitário.

Assim, foram analisados os preços das tubagens de distribuição de água, de drenagem residual e respetivos acessórios (válvulas de corte, curvas 90°, forquilhas de redução, etc.). Quanto aos acessórios que compõem as redes hidráulicas em estudo, teve-se a preocupação de apenas analisar acessórios mecânicos, desprezando assim as ligações por soldadura ou colagem. O facto de se analisar apenas acessórios mecânicos deve-se à fácil instalação associada, sendo desnecessário recorrer a ferramentas especiais. Os preços dos tubos são contabilizados em metros lineares e os dos acessórios em unidades.

É importante referir que, em obra, o rendimento de instalação dos diferentes tipos de canalização varia conforme as características e composições dos materiais em causa [71].

As tubagens analisadas, quanto à rede de distribuição de água, são as de polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno reticulado (PEX), policloreto de vinilo clorado (PVC-C), polipropileno (PP), polibutileno (PB), cobre (Cu), aço inoxidável (AI), aço galvanizado (AG) e tubos de multicamada. Os acessórios usados na análise variam consoante o tipo de tubagem em estudo. Quanto à instalação da rede de drenagem de águas residuais domésticas, as tubagens analisadas são as de ferro fundido (FF), policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U), polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP) e tubagens “insonorizadas”.

A escolha das soluções analisadas procurou ir de encontro ao que atualmente se utiliza no mercado. No que diz respeito às instalações de distribuição de água, elaborou-se uma análise mais elaborada apenas para as tubagens termoplásticas. Os tubos metálicos não satisfazem vários fatores importantes para a constituição da rede hidráulica do módulo sanitário, inconvenientes esses abordados no subcapítulo 5.2.

Relativamente às soluções para a instalação da rede de drenagem de águas residuais, o critério de escolha foi idêntico. Investigou-se os tubos mais correntes neste tipo de instalações e os abordados no subcapítulo 5.2.

### 5.4.2. Análise económica das redes de distribuição de água

O estudo de toda a parte económica das redes de distribuição de água é importante para o sucesso na execução das mesmas. De modo a garantir um estudo rigoroso, obteve-se a maior informação possível do mesmo fornecedor / fabricante, entidade certificada neste sector de mercado. No mesmo contexto, quanto aos acessórios presentes na análise económica que constituem a rede hidráulica teve-se em atenção ao uso de acessórios mecânicos nos diferentes tipos de tubagem. Embora que, dada a natureza de cada material e aproximando-se o mais possível da realidade em obra, foram usados em todas as tubagens, acessórios em latão com exceção dos tubos de polipropileno, cobre, aço inoxidável e aço galvanizado que se utilizou acessórios do mesmo material das tubagens.

A diferença de preços entre as redes metálicas e as termoplásticas de distribuição de água é notória. A análise obteve-se somando os custos de todas as componentes que constituem a rede hidráulica. Neste âmbito, é fulcral demonstrar a evolução do valor económico das diferentes soluções. A Figura 120 apresenta o gráfico ilustrativo do desenvolvimento de preços das diferentes soluções de distribuição de água, para a rede hidráulica ilustrada na Figura 114.

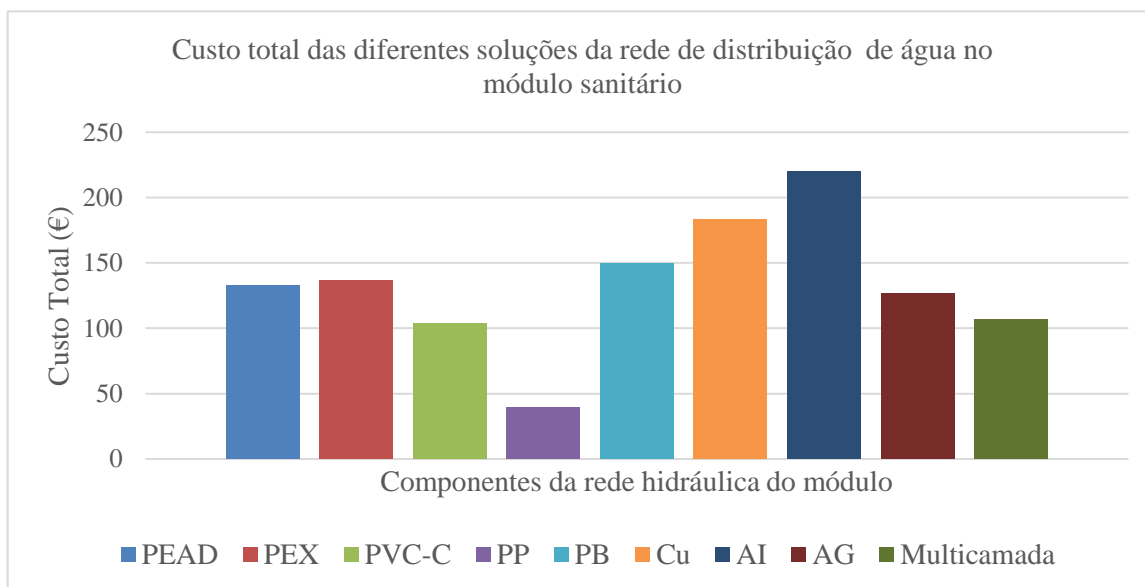


Figura 120- Custo total da rede de abastecimento de água, do módulo sanitário, para as diferentes soluções [26][29][47][60][71]

É importante referir que, visto ser comum os fabricantes e fornecedores disponibilizarem os preços dos tubos por metro linear e dos acessórios por unidade, os valores dos gráficos

acima ilustrados foram obtidos através dos preços apresentados no Quadro 50, associados à quantidade de componentes presentes na rede hidráulica do módulo, explícitos no Quadro 49, respetivamente.

Neste contexto, a análise económica para as diferentes soluções baseou-se nos seguintes valores:

Quadro 49- Quantidade de componentes para os diferentes diâmetros nominais presentes na rede de distribuição de água

Quantidade de componentes	DN16	DN20
<b>Tubo (m)</b>	1,35	4
<b>Tê (un)</b>	0	3
<b>Curva 90° (un)</b>	9	6
<b>Válvula de seccionamento (un)</b>	0	2

Quadro 50- Custo total da rede de distribuição de água para as diferentes soluções [26][29][47][60][71]

Custos totais (€)									
Componentes hidráulicas	PEAD	PEX	PVC-C	PP	PB	Cu	AI	AG	Multicamada
<b>DN 16</b>	0,51	1,00	0,84	1,59	4,66	9,05	7,05	4,46	1,70
<b>DN 20</b>	2,48	6,48	2,84	7,16	19,80	43,48	39,36	19,00	11,56
<b>Tê DN20</b>	27,78	27,78	8,88	1,29	27,78	30,12	34,89	6,60	21,60
<b>Curva 90° DN16</b>	41,58	41,58	36,36	2,79	41,58	24,84	46,26	28,89	19,53
<b>Curva 90° DN20</b>	39,48	39,48	32,40	2,34	39,48	43,50	53,58	26,52	30,54
<b>Válvula de seccionamento</b>	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90
<b>Rendimento de instalação</b>	86,73	86,73	86,73	86,73	86,73	111,18	111,18	111,18	86,73
<b>TOTAL</b>	216,46	220,95	185,94	119,80	237,92	280,06	310,22	214,54	189,56

A evolução dos custos totais e a diferença económica entre os componentes termoplásticos e os metálicos é evidente, como se verifica na Figura 120. Após a análise do gráfico, é possível verificar que as redes hidráulicas compostas por componentes metálicos são as mais dispendiosas, enquanto as redes hidráulicas termoplásticas são as mais viáveis economicamente. No entanto, os custos totais da rede composta por materiais em aço

galvanizado é ultrapassada por certos materiais termoplásticos. As redes compostas por tubagens de polietileno reticulado (PEX), polibutileno (PB) e polietileno de alta densidade (PEAD) apresentam custos globais semelhantes, diferindo o seu valor em poucos euros.

Tendo por base os valores apresentados no Quadro 50, elaboraram-se as relações entre os fatores que interferem no custo global da rede hidráulica. Na presente análise, relacionaram-se apenas os custos associados às tubagens termoplásticas, que apresentam as características pretendidas na execução da rede hidráulica do módulo sanitário. Quanto às tubagens metálicas, estas apresentam vários inconvenientes na sua aplicação no módulo. Inconvenientes esses que passam pelo seu peso superior ao das tubagens termoplásticas, complexidade na união dos acessórios, dispendiosos em termos económicos, baixa resistência à corrosão, entre outros fatores abordados no subcapítulo 5.2. Neste contexto, desprezou-se então a relação entre tubagens metálicas e termoplásticas uma vez que não faria sentido relacionar materiais distintos. É importante referir que a escolha dos materiais correlacionados procurou ir de encontro aos que frequentemente se comercializam em Portugal.

Quadro 51- Correlação entre preços dos tubos por metro linear (medidos em percentagem) [26][29][47][60]

<b>Relação entre tubagens (%)</b>	
<b>Multicamada / PEX</b>	77,31
<b>Multicamada/ PP</b>	51,50
<b>Multicamada/ PVC-C</b>	260,65
<b>PP / PEX</b>	17,03
<b>Multicamada / PEAD</b>	343,07

O Quadro 51 indica que em média os tubos de parede multicamada são mais custosos 77,31% que os tubos de polietileno reticulado, 51,50% que os tubos de polipropileno, 260,65% que os tubos de PVC-C e 343,07% que os tubos de polietileno de alta densidade. Por sua vez os tubos de polipropileno são 17,03% mais dispendiosos que as tubagens de polietileno reticulado. Os tubos de parede composta apresentam um custo superior aos restantes tubos termoplásticos analisados. Porém, quanto aos acessórios que compõem a canalização em polietileno reticulado e polietileno de alta densidade, estes são mais dispendiosos, em média, 51,86% que os acessórios que constituem uma rede em tubagem de parede multicamada, como se pode observar no Quadro 52. Esta diferença de custos

deve-se, essencialmente, à constituição dos acessórios. Os acessórios mais viáveis a nível económico são os da solução em polipropileno, sendo estes do mesmo material.

Quadro 52- Correlação entre acessórios por unidade (medidos em percentagem) [26][47]

<b>Relação entre acessórios (%)</b>	
<b>PEX/Multicamada</b>	51,86
<b>Multicamada/ PP</b>	1016,36
<b>PVC-C/Multicamada</b>	8,33
<b>PEX/PP</b>	1595,33
<b>PEAD/ Multicamada</b>	51,86

Os Quadros 51 e 52, acima referidos, apresentam informações determinantes na escolha do material a utilizar nas redes de distribuição de água. Porém, outro fator importante é o rendimento na instalação dos diferentes tipos de tubagens. Cada tubagem apresenta um manuseamento e características típicas de união com os acessórios. As soluções que apresentam maiores custos a nível de rendimento de instalação são as canalizações metálicas, sendo a instalação cerca de 28% mais custosa que as canalizações em tubagens termoplásticas. Na gama das redes termoplásticas, estas apresentam um rendimento de instalação idêntico [71]. Os valores referentes ao rendimento de instalação, expostos no Quadro 50, foram obtidos através da relação entre o tempo de instalação alusivo a uma dada rede hidráulica, citada num gerador de preços, com a rede hidráulica do módulo sanitário. A relação entre o tempo de instalação das duas redes hidráulicas foi conseguida através de um inquérito realizado a dois canalizadores. A Figura 121 ilustra as redes que foram comparadas em termos do tempo de instalação. Segundo o inquérito realizado, concluiu-se que a rede hidráulica referente ao módulo sanitário seria instalada em apenas 71% (valor médio) do tempo que a instalação da canalização presente no gerador de preços demora. Logo, a esse tempo médio de instalação foi multiplicado o custo de um canalizador oficial à hora, obtendo-se assim o custo global da instalação da rede hidráulica [71].



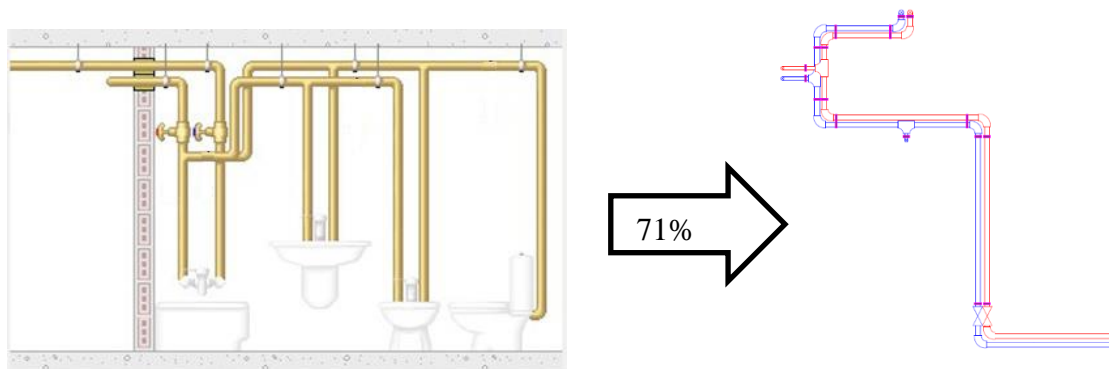


Figura 121- Relação do tempo de instalação das diferentes redes de distribuição de água [71]

Para o traçado hidráulico analisado, é apresentado um orçamento final para os respectivos componentes hidráulicos. O traçado foi concebido de uma forma rigorosa e coerente de modo a tornar a análise o mais real possível. Após a elaboração dos custos finais, apresenta-se, no Quadro 53, a correlação dos custos globais para os diferentes componentes hidráulicos.

Quadro 53- Correlação entre custos totais das diferentes soluções (medidos em percentagem) [26][29][47][60][71]

Relação entre soluções (%)	
<b>PEX/Multicamada</b>	16,56
<b>Multicamada/ PP</b>	58,23
<b>Multicamada/ PVC-C</b>	1,94
<b>PEX/PP</b>	84,43
<b>PEAD/ Multicamada</b>	14,19

Analisando o Quadro 53, é possível verificar que a canalização em polietileno reticulado tem um acréscimo económico de 16,56% em relação à da tubagem de parede composta. Por outro lado, a rede composta com tubagem em multicamada tem um valor de 1,94% superior à rede formada com tubagem de PVC-C, sendo as redes com o custo global mais próximo entre si. As redes hidráulicas mais dispendiosas são as de aço inoxidável e as de cobre. Quanto às redes compostas por tubagem termoplástica, a solução em tubagem de polipropileno revelou-se 58,23% mais barata que a rede composta por tubagem multicamada, tornando-se assim a rede mais económica. Ao invés, a canalização de tubagem termoplástica mais dispendiosa é composta por tubos de polibutileno. A solução

formada por tubagem multicamada torna-se mais económica que a rede constituída por tubagem de polietileno de alta densidade, com valores a rondar os 14%.

É importante mencionar que, em todas as soluções que constam nos quadros apresentados, são apenas considerados os preços dos tubos, respetivos acessórios e rendimentos de instalação dos mesmos. Outros fatores extra como, por exemplo, mangas de proteção, fixadores e isolamento de tubos de água quente, foram desprezáveis na realização da presente análise económica.

Conclui-se que as canalizações em tubagem de polipropileno são as mais económicas e ao invés, as mais dispendiosas são as de aço inoxidável, cobre e polibutileno.

É evidenciado na Figura 120 que, quando são utilizados tubos termoplásticos o custo da rede hidráulica desce consideravelmente.

As soluções formadas por tubagem em polietileno reticulado, polietileno de alta densidade e PVC-C apresentam custos baixos na parte dos tubos, sendo que os acessórios é que elevam o seu valor económico. Já na solução com tubagem de multicamada ocorre o oposto, ou seja, as tubagens são mais dispendiosas que o resto dos tubos termoplásticos analisados enquanto os acessórios apresentam custos inferiores em relação aos acessórios estudados. No que diz respeito ao custo dos acessórios associados às tubagens de polipropileno importa evidenciar que os preços reduzidos devem-se ao facto destes serem em polipropileno.

Quanto às válvulas de seccionamento, optou-se por colocar o mesmo valor monetário em todas as soluções de forma a facilitar a perceção da relação entre as redes de diferentes tubagens.

Em suma, efetuando uma análise global de todos os parâmetros em discussão e respeitando a ordem das soluções mais económicas para as mais dispendiosas, temos as de polipropileno, policloreto de vinilo clorado, tubo de multicamada, aço galvanizado, polietileno de alta densidade, polietileno reticulado, polibutileno, cobre e aço inoxidável.

#### **5.4.3. Análise económica da rede de drenagem de águas residuais**

No presente subcapítulo é realizado o estudo económico da possível rede de drenagem de águas residuais para o módulo sanitário. Os custos apresentados foram obtidos nas tabelas de preços que os fabricantes e fornecedores certificados para este sector de mercado

disponibilizam. Assim como no subcapítulo anterior, tentou-se obter a máxima informação possível dos mesmos fornecedores / fabricantes, de modo a diminuir a margem de erro. O estudo dos custos globais das várias soluções é feito da mesma forma que a análise económica anterior. Neste contexto, procurou-se demonstrar individualmente os custos das componentes hidráulicas que constituem o módulo sanitário, assim como a relação entre as várias soluções. Salienta-se que, todas as soluções averiguadas foram efetuadas de uma forma coerente de modo a igualar o formato de instalação das diferentes redes em estudo, embora haja uma grande variedade de componentes hidráulicas no mercado atual.

Na Figura 122 apresenta-se o gráfico representativo da evolução dos preços das diferentes soluções de drenagem de águas residuais domésticas, analisadas no subcapítulo 5.2 desta dissertação. À semelhança das soluções anteriormente analisadas, é prática comum dos fabricantes e fornecedores disponibilizarem os preços por metro linear de tubo e os acessórios por unidade. Assim sendo, o presente estudo baseou-se no somatório dos custos pertencentes às componentes hidráulicas que constituem o módulo sanitário assim como o rendimento de instalação das mesmas (Quadro 54 e 55).

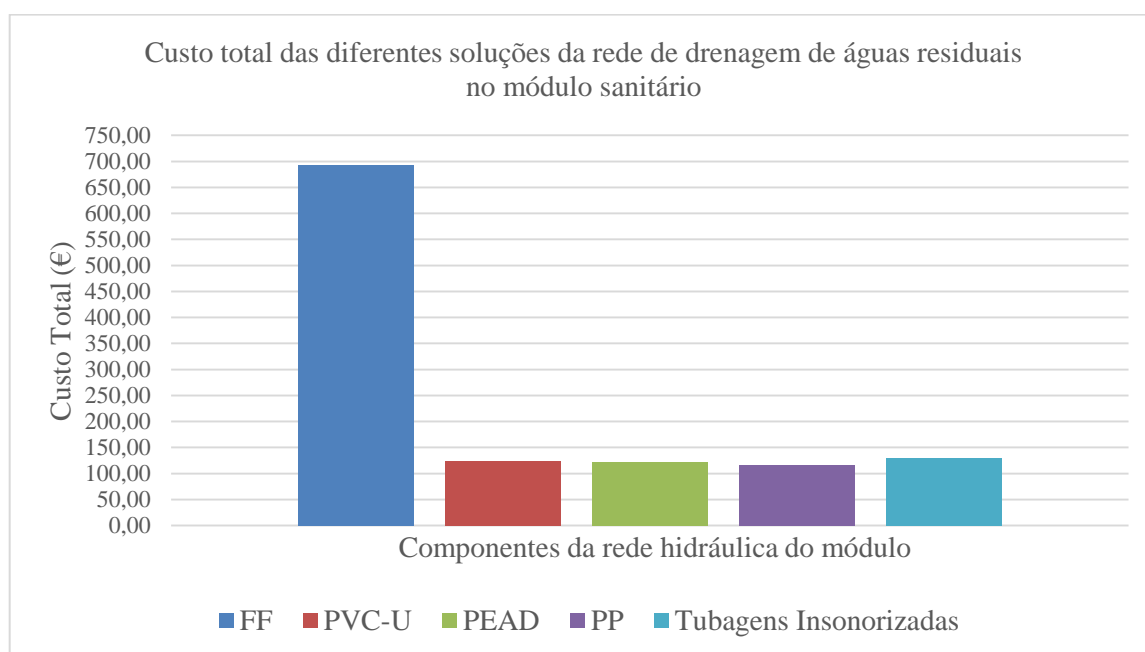


Figura 122- Custo total da rede de drenagem de águas residuais do módulo sanitário [26][32]

Quadro 54- Quantidade de componentes presentes na rede de drenagem de águas residuais do módulo sanitário

Quantidade de componentes	
<b>DN 40 (m)</b>	1
<b>DN 110 (m)</b>	0,2
<b>Tê 87°, DN40 (un)</b>	1
<b>Forquilha redução 45°, DN110 / DN40 (un)</b>	1
<b>Forquilha redução 45°, DN110 / DN90 (un)</b>	1
<b>Curva 87° DN40 (un)</b>	1
<b>Curva 45° DN110 (un)</b>	1
<b>Curva 45° DN90 (un)</b>	1
<b>Aumento DN40 / DN110 (un)</b>	1
<b>Válvula de admissão de ar (un)</b>	1

Quadro 55- Custo total da rede de drenagem de águas residuais para as diferentes soluções [26][32][71]

Custos totais (€)					
<b>Componentes hidráulicas</b>	<b>FF</b>	<b>PVC-U</b>	<b>PEAD</b>	<b>PP</b>	<b>Tubagens “insonorizadas”</b>
<b>DN 40</b>	67,80	1,85	1,87	1,86	3,50
<b>DN 110</b>	44,96	1,14	1,50	1,28	1,93
<b>Tê 87°, DN40</b>	50,10	2,00	2,29	1,08	2,80
<b>Forquilha redução 45°, DN110 / DN40</b>	103,00	9,38	6,37	2,59	7,79
<b>Forquilha redução 45°, DN110 / DN90</b>	103,00	10,22	6,37	10,94	8,79
<b>Curva 87° DN40</b>	38,30	0,69	1,15	0,54	1,28
<b>Curva 45° DN110</b>	70,70	2,88	4,68	1,40	3,74
<b>Curva 45° DN90</b>	58,90	2,13	4,35	1,22	3,57
<b>Aumento DN40 / DN110</b>	64,80	1,55	2,07	2,65	3,65
<b>Válvula de admissão de ar</b>	13,77	13,77	13,77	13,77	13,77
<b>Rendimento de instalação</b>	78,41	78,41	78,41	78,41	78,41
<b>TOTAL</b>	693,74	124,01	122,83	115,74	129,22

Após a análise do gráfico ilustrado na Figura 122 e dos seus valores associados (Quadro 55), é possível constatar que a solução com tubagem de ferro fundido é a mais dispendiosa,

enquanto a solução com tubagem de polipropileno é a mais económica. Neste contexto verifica-se que o custo da canalização em polietileno de alta densidade é praticamente idêntico ao da rede em PVC-U. Da mesma maneira se observa que, os tubos “insonorizados” são substancialmente mais dispendiosos que as soluções de PEAD e PVC-U.

Tendo por base os valores apresentados no Quadro 55, elaboraram-se as relações entre tubagens, acessórios e custos globais para as várias soluções. Importa referir que, pelos mesmos motivos vistos anteriormente, serão apenas analisadas as soluções compostas por tubagens termoplásticas.

O Quadro 56 apresenta a relação entre as diferentes tubagens termoplásticas para drenagem de águas residuais domésticas. Em média, os tubos “insonorizados” são 81,78% mais dispendiosos que os tubos de policloreto de vinilo não plastificado e 72,87% mais caros que os tubos de polipropileno. Contudo, os tubos de polipropileno são cerca de 5% mais dispendiosos que as canalizações de policloreto de vinilo não plastificado. Neste contexto, verificou-se também que, em média, o preço das tubagens de PEAD são 12,93% mais caras que os tubos de PVC-U.

Quadro 56- Correlação entre preços dos tubos por metro linear (medidos em percentagem) [26][32]

Relação entre tubagens (%)	
<b>Tubagem “insonorizada” / PVC-U</b>	81,78
<b>Tubagem “insonorizada” / PEAD</b>	60,97
<b>Tubagem “insonorizada” / PP</b>	72,87
<b>PP / PVC-U</b>	5,16
<b>PEAD / PVC-U</b>	12,93

Comparando a correlação apresentada no Quadro 56 com o gráfico ilustrado na Figura 122, verifica-se que o custo dos tubos torna-se um fator determinante na escolha do material para as redes de drenagem de águas residuais domésticas.

O Quadro 57 apresenta a relação entre acessórios compostos pelos diferentes materiais. Verifica-se que o cenário mais económico quanto aos acessórios afigura ser o da solução composta por polipropileno, seguindo-se o da solução com acessórios de PEAD (5,76 % mais económicos que os acessórios de PVC-U). Os acessórios para as tubagens

insonorizadas revelam-se, em média, 15,9% mais caros do que a solução composta por PEAD e 9,6% mais custosos que os acessórios em PVC-U.

Quadro 57- Correlação entre acessórios por unidade (medidos em percentagem) [26][32]

Relação entre acessórios (%)	
<b>Tubagem “insonorizada” / PVC-U</b>	9,60
<b>Tubagem “insonorizada” / PEAD</b>	15,91
<b>Tubagem “insonorizada” / PP</b>	54,85
<b>PVC-U / PP</b>	41,28
<b>PVC-U / PEAD</b>	5,76

Os rendimentos de instalação, apresentados no Quadro 55, são iguais para os diferentes materiais que constituem a rede hidráulica. Ou seja, relacionando os valores de rendimento, expostos no Quadro 55, conclui-se que as diferentes soluções apresentam tempos de instalação iguais. Assim como na rede de distribuição de água, os valores do rendimento de instalação foram obtidos através de um inquérito. O inquérito possuía as duas redes ilustradas na Figura 123 em que, a do lado esquerdo é referente à do gerador de preços e a do lado direito é alusiva à do módulo sanitário. Com a informação obtida através dos inquéritos concluiu-se que a rede do módulo sanitário era instalada em metade do tempo, comparativamente com a rede referente ao gerador de preços. Assim, com o valor médio do tempo de instalação, este foi multiplicado pelo custo relativo do canalizador oficial, obtendo-se assim o custo total de instalação, apresentado no Quadro 55.

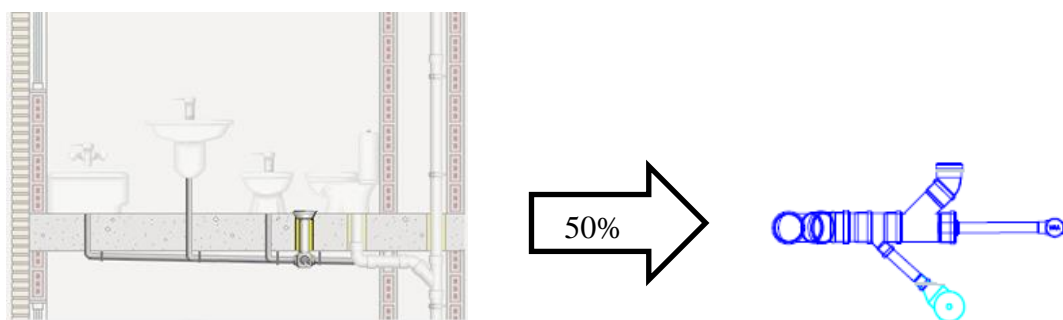


Figura 123- Relação do tempo de instalação das diferentes redes de drenagem de águas residuais [71]

De modo a compreender a diferença dos valores finais entre as diversas soluções em estudo, apresentam-se no Quadro 58 as relações dos custos globais para as diferentes soluções.

Quadro 58- Correlação entre os custos totais das soluções (medidos em percentagem) [26][32][71]

Relação entre soluções (%)	
<b>Tubagem “insonorizada” / PVC-U</b>	4,20
<b>Tubagem “insonorizada” / PEAD</b>	5,21
<b>Tubagem “insonorizada” / PP</b>	11,65
<b>PVC-U / PP</b>	7,15
<b>PVC-U / PEAD</b>	0,96

Ao analisar o Quadro 58, observa-se que a solução de tubagem “insonorizada” é mais dispendiosa comparativamente às de PVC-U, PEAD e PP. Este facto advém da diferença de preços dos acessórios e tubos “insonorizados” comparativamente com as restantes soluções termoplásticas. A solução em PVC-U apresenta um pequeno acréscimo de 0,96% em relação à solução em PEAD e 7,15% mais dispendiosa que a solução em polipropileno.

Em suma, efetuando uma análise global de todos os parâmetros em discussão, a Figura 122 ilustra que a solução em ferro fundido apresenta uma disparidade muito significativa comparativamente com as restantes soluções termoplásticas. Na gama das canalizações com tubagens termoplásticas, a solução mais dispendiosa atribui-se à solução com tubos insonorizados devido às características das mesmas. Estas tubagens visam satisfazer as exigências funcionais atuais tendo em consideração o desempenho e, em destaque, o melhoramento das condições de conforto acústico.

Por outro lado, a solução mais económica é a de polipropileno. As redes formadas por tubagens em PVC-U e em PEAD apresentam custos totais muito próximos entre si, sendo a solução em PVC-U apenas 0,96 % mais cara que a solução em PEAD.

No que diz respeito aos valores monetários dos equipamentos e acessórios complementares, tais como os sifões, estes não foram incluídos na análise económica, à exceção das válvulas de admissão de ar.

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. Conclusões gerais

As instalações sanitárias apresentam-se como um ponto crítico na construção civil, em função da diversidade de produtos, de serviços, da exigência de mão-de-obra qualificada para a sua execução e da complexidade na montagem e funcionamento das instalações. As novas tecnologias e métodos construtivos geram racionalização e qualidade para o sector da construção civil. O desafio de aplicar técnicas de pré-fabricação num sistema construtivo cria um impacto em algumas práticas construtivas, que apesar de aceitas e difundidas, necessitam de maior racionalidade. A instalação de WCs pré-fabricados reduz o desperdício de materiais, a mão-de-obra nas obras e principalmente o tempo de construção e os atrasos característicos das obras. Atualmente, o WC pré-fabricado tem tido a sua maior empregabilidade na construção de cadeias hoteleiras. No entanto, este tipo de obras está saturado no mercado e em consequência dessa desaceleração nos investimentos em cadeias hoteleiras, resulta a diminuição do fabrico de WCs pré-fabricados. Logo, é necessário obter alternativas para firmar o uso do produto em edifícios residenciais. De forma a colmatar esse desuso de WCs pré-fabricados, é necessário que o mercado apresente um maior leque de escolha deste tipo de produtos. Atualmente, de um modo geral, as instalações sanitárias pré-fabricadas mais comercializadas baseiam-se em monoblocos que induzem a algumas desvantagens quanto à sua empregabilidade. Ou seja, geralmente, estes monoblocos sanitários requerem um transporte e manuseamento especial até ao local a serem instalados, devido ao seu peso excessivo e ao formato geométrico que possuem.

No âmbito da reabilitação de edifícios, a presente dissertação iniciou-se com um estudo referente à evolução do edificado antigo de modo a compreender os métodos construtivos utilizados na sua conceção. Concluiu-se que o edificado antigo, contruído antes do uso intensivo do betão armado em obra, apresenta elementos construtivos limitados ao nível da resistência estrutural. Por exemplo, os pisos elevados são, normalmente, constituídos por elementos de madeira que comprometem a sua resistência quando aplicadas cargas excessivas. Logo, os monoblocos sanitários pré-fabricados não são a melhor solução neste tipo de edifícios. A dimensão dos WCs pré-fabricados atualmente comercializados também



são um fator comprometedor na sua aplicação em edifícios a reabilitar. No caso da Casa Santo António, edifício abordado no presente trabalho, a instalação de um monobloco pré-fabricado num piso elevado seria inviável devido às suas características físicas. Os elementos estruturais de madeira, constituintes do piso elevado, também não seriam suficientemente resistentes para suportar o peso do monobloco sanitário. As dimensões do WC pré-fabricado iriam comprometer a sua instalação, sendo talvez necessário o uso de equipamentos de elevação para a sua colocação no piso pretendido. Dado se tratar de um monobloco, o seu formato iria comprometer a nível estético o espaço onde seria instalado. A versatilidade destes monoblocos é reduzida, ou seja, apenas sabendo o espaço e a disposição de instalação se pode escolher qual o modelo a ser adquirido.

Numa outra vertente, as estruturas portantes para adaptação dos equipamentos sanitários também é uma solução para as instalações sanitárias. As estruturas portantes, fixas ao pavimento ou às paredes envolventes, são uma opção comum na aquisição de aparelhos sanitários elevados. Outro uso comum deste tipo de solução advém da inexistência de paredes resistentes, comum em edifícios antigos, do qual a própria estrutura forma uma parede divisória capaz de resistir às cargas aplicadas nos aparelhos sanitários. A reabilitação de uma instalação sanitária com este tipo de solução não difere de uma solução convencional, uma vez que é necessário, após a montagem da estrutura portante, todos os passos construtivos de um WC tradicional.

O módulo sanitário estudado no presente trabalho é, essencialmente, aliado à reabilitação de edifícios. O módulo sanitário visa colmatar todos os inconvenientes que os WCs pré-fabricados apresentam quanto à sua instalação em edifícios antigos. A conceção do módulo sanitário deve principalmente atender os seguintes aspetos, para se destacar dos restantes WCs pré-fabricados geralmente comercializados:

- Peso total;
- Resistência da sua estrutura;
- Dimensões;
- Versatilidade;
- Requisitos mínimos necessários;
- Simplicidade de instalação;

- Estética;
- Eficiência de utilização;
- Economia a nível monetário e de espaço;
- Entre outros.

Pretende-se que a instalação do módulo sanitário seja simples de modo a que, qualquer pessoa consiga montar sem quaisquer dificuldades, atendendo o padrão *Do It Yourself* (DIY). O módulo deve ser leve e resistente para facilitar a fabricação, manipulação, transporte e instalação. Os requisitos mínimos na instalação do módulo sanitário são um ponto de eletricidade, uma ligação de abastecimento de água e um ponto de drenagem de águas residuais.

Quanto ao módulo sanitário, esta dissertação incidiu mais na conceção do traçado e dimensionamento hidráulico. O presente estudo também abordou algumas soluções de tubagens e acessórios que podem apresentar uma viabilidade técnica e económica. Quanto à rede de distribuição de água associada ao módulo sanitário, a solução mais viável em relação à qualidade/economia seria composta por tubagem multicamada. Quanto às uniões, estas deveriam ser efetuadas através de acessórios de aperto roscado ou outras em que não sejam necessárias ferramentas especiais, atendendo ao conceito DIY. Tanto a rede de abastecimento de água fria como a rede de água quente devem conter válvulas de seccionamento no início dos seus traçados, de modo a facilitar futuros trabalhos de manutenção. Com o intuito de empregar, no módulo sanitário, sistemas inovadores aliados à qualidade e conforto, a rede de drenagem de águas residuais pode ser composta com tubagem insonorizada. Os custos inerentes a este tipo de rede não divergem muito comparativamente às restantes soluções termoplásticas. A rede de drenagem deverá conter uma válvula de admissão de ar de modo a evitar sobrepressões no interior das tubagens. A utilização de tubagens metálicas, em ambas as redes hidráulicas do módulo sanitário, é uma solução desvantajosa em termos de peso e manuseamento de empregabilidade, não esquecendo a grande diferença monetária comparativamente com as soluções termoplásticas. Por exemplo, o rendimento de instalação de uma rede de distribuição de água composta por tubagens metálicas torna-se cerca de 28 % mais custosa que a utilização de tubagens termoplásticas. Tanto a rede de distribuição de água como a rede de drenagem de águas residuais referentes ao módulo foram dimensionadas através das Normas

Europeias, do atual Regulamento Português e do futuro Regulamento Português. Posteriormente, foram comparados os valores obtidos e verificou-se que os resultados eram iguais ou muito próximos, em todas as situações.

A conceção do traçado das redes hidráulicas foi executada tendo em atenção às várias disposições possíveis que o módulo sanitário poderá ser instalado. Ou seja, as redes hidráulicas foram dimensionadas de forma a satisfazer as várias disposições dos aparelhos sanitários assim como as várias orientações possíveis do módulo.

## **6.2. Desenvolvimentos futuros**

Por fim, sugere-se o desenvolvimento de trabalhos futuros que investiguem outros tópicos referentes ao módulo sanitário. As redes hidráulicas podem ser analisadas com maior vigor e de uma forma prática. Por exemplo, podem ser concebidos vários traçados hidráulicos alternativos e posteriormente comparar a eficiência hídrica assim como a diferença económica entre os diferentes modelos. O tipo de tubagem a ser empregue também pode ser alvo de um estudo prático. Ou seja, pode-se comparar a montagem de uma rede de distribuição de água composta por tubagem multicamada com uma constituída por tubagem PEX, dado apresentarem características físicas diferentes. Neste âmbito, pode também ser estudado um traçado de distribuição de água quente alternativo, que satisfaça o abastecimento caso o módulo sanitário possua aquecimento próprio de água. Outro tópico interessante para análise será um traçado da rede de drenagem de águas residuais em que seja compatível a drenagem num só tubo de queda ou num caso em que a drenagem de águas cinzas é feita em separado com as águas negras.

Outro aspeto que pode ser futuramente desenvolvido é a economia de água no módulo sanitário. Por exemplo, pode ser concebido um traçado hidráulico de distribuição de água que satisfaça o abastecimento de água proveniente da rede pública, assim como o traçado desenvolvido no presente trabalho, e ao mesmo tempo, um traçado que abasteça a bacia de retrete com água proveniente do aproveitamento de águas da chuva. Da mesma forma, também se pode efetuar uma economia hídrica aproveitando as águas cinzentas, provenientes do lavatório e da base de duche, para as descargas do autoclismo através de um sistema de tratamento de águas.

Dada a versatilidade do módulo sanitário nas várias disposições possíveis de instalação, este está restringido a se situar perto de uma parede devido às redes inerentes à sua laboração. Ou seja, para instalar o módulo sanitário este é obrigado a ficar associado a uma parede que contenha os pontos hidráulicos e de energia elétrica. Dada essa restrição, seria interessante o estudo de um outro modelo que fosse possível instalar sem estar associado a qualquer parede. Sendo assim, o módulo sanitário poderia ser instalado no meio de um compartimento em que as redes eram conexas ao módulo pelo teto. A rede de drenagem de águas residuais seria o ponto mais crítico uma vez que passaria de uma drenagem gravítica para uma drenagem por bombagem. Teria de se analisar a bomba que satisfazia a drenagem dos três aparelhos sanitários.

Um fator importante que também deve ser abordado é a facilidade de instalação do módulo sanitário. Seria interessante ter uma percepção do tempo que se demoraria a instalar o módulo sanitário. Para isso, recorria-se a um certo número de indivíduos e calculava-se o tempo médio que estes demoravam a montar o módulo. A partir daí, verificava-se quais os pontos que se poderiam melhorar de forma a tornar o módulo um produto simplificado.

A qualidade dos materiais constituintes do módulo sanitário podem também ser alvo de uma análise. Uma vez que o módulo sanitário terá um longo percurso entre a sua fabricação até ao local de instalação, este necessita ser constituído por materiais resistentes. O conforto de utilização do módulo sanitário também é um fator que se deve ter em conta.

Um estudo de viabilidade financeiro seria bastante importante de modo a, caso fosse necessário, melhorar alguns aspetos antes do módulo sanitário ser comercializado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Nuno Portas - *Funções e exigências de áreas da habitação*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Fevereiro 1969.
- [2] *O parque habitacional e a sua reabilitação, Análise e evolução*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, INE, Edição 2013.
- [3] Conceição L. - *Revista lusófona de humanidades e tecnologias*. N. 11, 2008.
- [4] *Regulamento Geral de Edificação Urbana (RGEU)*, 1951.
- [5] Braga A. - *Revista de arte e construção- Arquitetura*. 2ª Série, n. 53, 1954.
- [6] Costa, A.; Guimarães, A.; Arêde, A.; Begonha, A.; Medeiros, C.; Paupério, E.; Freitas, V.; Póvoas, R.; Valentim, N.; Ramos, N.; Quintela, M.; Faria, J.; Teixeira, J.; Guedes, J.; Porto, J.; Sousa, H.; Corvacho, H.; Barreira, E. - *Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos*. (O. dos E. da R. Norte, Ed.) (1ª Edição). Porto, 2012.
- [7] Carvalho M. – *Dissertação de mestrado integrado em arquitetura*. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 11 de Junho de 2012.
- [8] Pereira S. - *Dissertação*; Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, IUL, 2010.
- [9] F. Pereira da Costa - *Enciclopédia prática da construção civil- Instalações sanitárias “Fascículo 24”*. Lisboa.
- [10] Duplano – *Projetos e Obras de Engenharia Civil*, Lda.
- [11] Juma A., “*Guia prático da habitação*”, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana I.P., 2010.
- [12] Gonçalves, O. M. *Execução e manutenção de sistemas hidráulicos prediais*. Editora PINI, São Paulo, 2000.
- [13] Lopes, R.D. “*Banheiro Pronto*”, Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2005
- [14] Barth F., Vasconcelos C., Bunn J., Becsi P., “*Desenvolvimento de banheiro pré-fabricado voltado para construções emergenciais*”, USP, 2010

- [15] Sabbatini, F.H. “*Desenvolvimento de materiais e processos construtivos. Formulação e aplicação de uma metodologia.*” Tese – Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1989
- [16] Informação da Pavicentro. Disponível em [www.pavicentro.pt](http://www.pavicentro.pt). Acesso em Outubro de 2015.
- [17] Catálogo da empresa Tecnobagno- Banheiro Pronto. Disponível em [www.banheiropronto.com.br](http://www.banheiropronto.com.br). Acesso em Fevereiro de 2016.
- [18] Catálogo da empresa AquaDream. Disponível em [www.aquadream-sdb.com](http://www.aquadream-sdb.com). Acesso em Fevereiro de 2016.
- [19] Catálogo técnico ALTOR - Tradiline. Acesso em Setembro de 2015.
- [20] Catálogo OLI- Oliveira & Irmão S.A. Acesso em Outubro de 2015
- [21] Catálogo da empresa TECE. Disponível em [www.tece.de](http://www.tece.de). Acesso em Outubro de 2015
- [22] Catálogo técnico Roca. Acesso em Novembro de 2015
- [23] Informação do site Bertrand Goldberg. Disponível em <http://bertrandgoldberg.org/projects/standard-prefab-bathroom/>. Acesso em Setembro de 2016.
- [24] Silva Afonso, A. B.- *Curso sobre Dimensionamento de redes prediais de águas e esgotos de acordo com as normas europeias*, Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais- ANQIP (Manual do curso), 2007
- [25] Catálogo técnico dos sistemas de tubagens da Abn Pipe Systems. Disponível em [www.grupoabn.com](http://www.grupoabn.com). Acesso em Maio de 2016.
- [26] Catálogo do fornecedor Pinto e Cruz. Disponível em [www.pintocruz.pt](http://www.pintocruz.pt). Acesso em Abril de 2016.
- [27] Catálogo técnico Tubofuro. Disponível em [www.Tubofuro.pt](http://www.Tubofuro.pt). Acesso em Maio de 2016.
- [28] Catálogo técnico Politejo. Disponível em [www.Politejo.pt](http://www.Politejo.pt). Acesso em Maio de 2016.
- [29] Catálogo técnico Fopil. Disponível em [www.Fopil.pt](http://www.Fopil.pt). Acesso em Maio de 2016.

- [30] Catálogo técnico Sultubos. Disponível em [www.Sultubos.pt](http://www.Sultubos.pt). Acesso em Maio de 2016.
- [31] Catálogo técnico Baquilete Liz. Acesso em Maio de 2016.
- [32] Catálogo técnico Valsir. Disponível em [www.Valsir.pt](http://www.Valsir.pt). Acesso em Março de 2016.
- [33] Martins, J. - *Materiais de construção - Plásticos*. Porto, 2004.
- [34] Pedroso, V.M.R. - “*Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas*”. 3.<sup>a</sup> Edição. Lisboa: Laboratório de Engenharia Civil, 2007
- [35] Catálogo técnico Viega. Disponível em [www.viega.net](http://www.viega.net). Acesso em Junho de 2016.
- [36] Catálogo Canalcentro. Disponível em [www.Canalcentro.pt](http://www.Canalcentro.pt). Acesso em Maio de 2016.
- [37] Pedroso, V. - *Tecnologia das tubagens de polietileno reticulado para sistemas prediais de distribuição de água*. LNEC, 2004.
- [38] Catálogo Giacomini. Disponível em [www.giacomini.pt](http://www.giacomini.pt). Acesso em Junho de 2016.
- [39] Catálogo técnico Uponor Portugal- Sistemas para Fluidos, Lda. Disponível em [www.uponor.com](http://www.uponor.com). Acesso em Abril de 2016.
- [40] Catálogo Astra. Acesso em Abril de 2016.
- [41] Catálogo técnico Cepex. Acesso em Junho de 2016.
- [42] Catálogo técnico Centralplast - Central de Compras de Plásticos, Lda. Acesso em Abril de 2016.
- [43] Informação de Paradigm Plumbing. Disponível em [www.paradigmplumbing.com](http://www.paradigmplumbing.com). Acesso em Maio de 2016.
- [44] Catálogo Tigre. Acesso em Abril de 2016.
- [45] Picciochi, I. M. – *Sistemas de tubagem de policlorado para distribuição de água quente e fria: Características e especificações*. LNEC, 1999.
- [46] Catálogo técnico Coprax. Disponível em [www.coprax.com](http://www.coprax.com). Acesso em Abril de 2016.
- [47] Informação Heliroma. Acesso em Maio de 2016.
- [48] Catálogo técnico Fersil -Soluciones de água S.A. Acesso em Maio de 2016.

- [49] Wikipédia - Cobre. Disponível em [wikipedia.org/wiki/Cobre](http://wikipedia.org/wiki/Cobre). Acesso em Junho de 2016.
- [50] Catálogo da empresa Dominik. Disponível em [www.dominik.com.br](http://www.dominik.com.br). Acesso em Maio de 2016.
- [51] Martins, J. - *Materiais de construção – Metais*. Porto, 2010.
- [52] Catálogo da empresa Tiba- Comércio e Indústria de Materiais de Construção, S.A. Acesso em Junho de 2016.
- [53] Pedroso, V. - *Tecnologia das tubagens de cobre para sistemas prediais de distribuição de água*. LNEC, 2003.
- [54] Catálogo da empresa Eurotubo- Sociedade de Materiais para Construção Civil, Lda. Acesso em Maio de 2016.
- [55] Catálogo técnico de sistemas de tubagens da Geberit. Disponível em [www.geberit.com](http://www.geberit.com). Acesso em Fevereiro de 2016.
- [56] Catálogo da empresa Ferpinta- Indústria Tubo Aço, S.A. Acesso em Junho de 2016.
- [57] Catálogo técnico Macop. Disponível em [www.macop.pt](http://www.macop.pt). Acesso em Maio de 2016.
- [58] Catálogo da empresa Coprax- Comércio e Indústria do Plástico, Lda -. Acesso em Junho de 2016.
- [59] Catálogo da empresa Lusofane- Tubos de plástico, S.A. Acesso em Maio de 2016.
- [60] Catálogo da empresa Sanitop- Material sanitário, Lda. Acesso em Junho de 2016.
- [61] Manual técnico de tubos de polibutileno da polyplumb. Disponível em [www.asetub.es](http://www.asetub.es). Acesso em Junho de 2016.
- [62] Instalação de tubagens em obra - Disponível em [canalizacoes24.wordpress.com](http://canalizacoes24.wordpress.com). Acesso em Junho de 2016.
- [63] Manual técnico Plasgal. Disponível em [www.plasgal.pt](http://www.plasgal.pt). Acesso em Maio de 2016.
- [64] NP EN 1451:2000 - *Sistemas de tubagens em plástico para esgoto no interior de edifícios. Polipropileno*. IPQ, 2000.
- [65] Associação de Produtores de Tubos e Acessórios, APTA. Disponível em [www.apta.pt](http://www.apta.pt). Acesso em Maio de 2016.



- [66] *Regulamento Geral dos sistemas públicos de distribuição de água e de drenagem de águas residuais*, Decreto-Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto, Imprensa Nacional, Lisboa, 1996
- [67] “*Manual de redes prediais*” - EPAL. Versão 4, 2011.
- [68] EN806-3:2006, *Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption-Part3: Pipe sizing – Simplified method*, CEN, Bruxelas, 2006.
- [69] EN 12056-3 – *Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: sanitary pipework, layout and calculation*. Brussels: CEN, June 2000.
- [70] Afonso, A. S. - "*Dimensionamento de instalações prediais de água. Considerações sobre o método proposto na norma europeia.*" Congresso Construção 2007 - 3º Congresso Nacional. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2007.
- [71] Gerador de preços- Portugal (CYPE). Disponível em [www.geradordeprecos.info](http://www.geradordeprecos.info). Acesso em Junho de 2016.